

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА
АРХІТЕКТУРИ»



ЦИГАНКОВА СВІТЛАНА ГРИГОРІВНА

УДК 331.453:613.155

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НОРМАЛІЗАЦІЇ АЕРОІОННОГО
РЕЖИМУ В ПРИМІЩЕННЯХ ПРИ ШТУЧНІЙ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ**

Спеціальність 05.26.01 – охорона праці

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Біляєв Микола Миколайович**, професор кафедри водопостачання, водовідведення і гідравліки Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури».

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент **Глива Валентин Анатолійович**, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності Національного авіаційного університету;

кандидат технічних наук **Сукач Сергій Володимирович**, доцент кафедри безпеки життєдіяльності Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Захист відбудеться 18 травня 2017 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К.08.085.03 при Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою: 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського 24-а, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою: 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського 24-а.

Автореферат розісланий 11 квітня 2017 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



О. В. Рабіч

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогодні значно зросла кількість робочих місць, обладнаних електронно-обчислювальними машинами, відеодисплейними терміналами, офісною технікою. При використанні даного обладнання оператори і обслуговуючий персонал піддаються впливу цілого ряду небезпечних та шкідливих виробничих факторів, одним з яких є підвищена чи знижена іонізація повітря в робочому просторі приміщення. Перебування працівників в умовах аероіонного дискомфорту тягне за собою підвищену стомлюваність, зниження уваги, швидкості зорових і слухових реакцій тощо; в підсумку, це може призвести до виникнення нещасних випадків. На даний момент найбільш часто вживаним способом для створення та підтримки оптимального аероіонного складу повітряного середовища в приміщеннях є штучна іонізація повітря. В Україні для розрахунку та оцінювання параметрів аероіонного режиму в приміщеннях застосовуються в основному аналітичні або регресійні моделі, що дозволяють розраховувати концентрацію аероіонів в приміщеннях, обладнаних електронно-обчислювальною й офісною технікою, а також на комп'ютеризованих робочих місцях. Однак ці моделі розроблені без достатнього врахування впливу на аероіонний режим наявності в приміщеннях встановленого обладнання, джерел емісії іонів і викиду пилу тощо. Для складання більш точного прогнозу зміни рівнів іонізації в робочій зоні виробничих приміщень необхідним є розроблення багатofакторних математичних моделей; це дозволить оперативно отримувати інформацію щодо зміни концентрації аероіонів задля забезпечення комфортного та безпечного повітряного середовища у зазначених приміщеннях. Таким чином, обґрунтування параметрів нормалізації аероіонного режиму в приміщеннях та керування зазначеними показниками при штучній іонізації повітря є актуальним науково-практичним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана з урахуванням національної програми «Концепція Загальнодержавної цільової програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2012 – 2016 роки» (схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 31 серпня 2011 року № 889-р); Загальнодержавної соціальної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014 – 2018 роки (затверджена Законом України № 178-VII від 04.04.2013 року) та в рамках науково-дослідної роботи ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» «Системний аналіз енергозберігаючих та екологоорієнтованих систем і технологій життєзабезпечення з метою захисту людини від шкідливих факторів» (державний реєстраційний № 0111U006479), у якій автор була співвиконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є обґрунтування параметрів нормалізації аероіонного режиму в приміщеннях при штучній іонізації повітря шляхом моделювання процесу розсіювання аероіонів, прогноз і керування зазначеними показниками.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

– провести аналіз сучасних методів оцінювання та контролю параметрів аероіонного режиму в приміщенні;

– розробити комплекс чисельних моделей для обґрунтування необхідних параметрів аероіонного режиму при штучній іонізації повітря на комп'ютеризованих робочих місцях і в приміщеннях, а також при персоналізованій подачі іонізованого повітря в робочу зону;

– розробити метод експрес-розрахунку для аналізу, прогнозу та контролю аероіонного режиму в приміщеннях;

– виконати програмну реалізацію і верифікацію розроблених чисельних моделей;

– розробити спеціальне програмне забезпечення для оцінювання, контролю та керування параметрами аероіонного режиму в приміщенні;

– провести дослідження зміни концентраційних полів аероіонів на комп'ютеризованих робочих місцях і в приміщеннях при використанні різних способів організації режиму штучної іонізації, провести аналіз одержаних результатів;

– впровадити результати досліджень на виробництві.

Об'єкт дослідження – процес розсіювання аероіонів у приміщеннях при штучній іонізації повітря.

Предмет дослідження – параметри штучної іонізації повітря в приміщеннях з комп'ютеризованими робочими місцями, що забезпечують комфортні умови праці.

Методи дослідження. Для досягнення мети і вирішення поставлених задач в роботі використано комплексний метод, що включає аналіз науково-технічної та нормативно-правової літератури з питань забезпечення аероіонного режиму в приміщеннях, застосування методів чисельного моделювання на основі фундаментальних багатовимірних рівнянь аеродинаміки, електростатики і масопереносу. Чисельне інтегрування моделювальних рівнянь проводилося з використанням абсолютно стійких різницевих алгоритмів.

Для верифікації розроблених чисельних моделей проведені фізичні експерименти та розрахунки на базі аналітичних моделей.

Наукова новизна одержаних результатів:

– вперше встановлено закономірності розподілу концентрації негативних і позитивних аероіонів у приміщенні в залежності від просторових характеристик приміщення і режиму штучної іонізації;

– вперше встановлено залежності зміни параметрів аероіонного режиму при застосуванні регульовальних екранів усередині приміщення з урахуванням динаміки повітряного потоку, електричного поля заряджених частинок, дифузії та емісії іонів;

– вперше розроблено чисельну модель, яка дозволяє обґрунтувати параметри нормалізації аероіонного режиму в приміщеннях при штучній іонізації повітря з урахуванням аеродинамічних властивостей повітряного середовища, рекомбінації іонів і їх дрейфу під дією електростатичних полів, що дозволяє проводити прогноз і керування аероіонним режимом за вимогами санітарних норм при аероіонізації повітря в приміщенні;

– удосконалено метод оцінювання та контролю аероіонного режиму в приміщеннях, заснований на застосуванні балансової моделі, що дозволяє врахувати кратність повітрообміну й емісію аероіонів і пилу в приміщенні з комп'ютеризованими робочими місцями.

Практичне значення одержаних результатів:

– розроблено чисельну модель, яка дозволяє проводити обґрунтування параметрів нормалізації аероіонного режиму з врахуванням аеродинамічних властивостей повітряного середовища, рекомбінації іонів, їх дрейфу під дією електростатичних полів в умовах штучної іонізації повітря в приміщеннях;

– удосконалено метод оцінювання та контролю аероіонного режиму, особливістю якого є врахування кратності повітрообміну й емісії аероіонів і пилу в приміщенні з комп'ютеризованими робочими місцями;

– розроблений програмний код може бути використаний для прогнозу аероіонного режиму у виробничих приміщеннях без обмеження їх функціональної спрямованості, а також у спеціалізованих «чистих» приміщеннях;

– впроваджено результати роботи в практику підприємств Дніпровський завод будівельних матеріалів, ТОВ ПКФ «Біотон» для аналізу та прогнозу параметрів аероіонного режиму при розробці заходів щодо нормалізації якості повітряного середовища в робочих приміщеннях підприємств, що дозволяє забезпечувати виконання вимог санітарних норм при аероіонізації повітря в приміщенні;

– матеріали дисертаційної роботи використані в навчальному процесі ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» при викладанні курсів «Санітарно-гігієнічні основи спеціальності» й «Кондиціонування повітря» та виконанні магістерських робіт зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (спеціалізація «Теплогазопостачання і вентиляція»).

Особистий внесок здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві, полягає в:

– виконанні аналізу сучасних методів оцінювання параметрів аероіонного режиму в приміщеннях і робочих зонах [1, 2, 4, 6, 7, 10, 11];

– розробці чисельної моделі для оцінювання аероіонного режиму в приміщеннях і в робочих зонах при різних способах іонізації повітря [1, 2, 4 – 8, 10 – 18];

– розробці чисельної моделі для експрес-прогнозу аероіонного режиму в приміщеннях на базі нуль-мірних рівнянь балансу маси [1, 5, 11, 13, 16, 17];

– розробці чисельної моделі для оцінювання аероіонного режиму в приміщенні при персоналізованій подачі іонізованого повітря в робочу зону [1, 3];

– виконанні програмної реалізації розроблених моделей, проведенні обчислювальних експериментів на їх базі та здійсненні обробки результатів досліджень [1 – 18];

– виконанні тестування розроблених чисельних моделей.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи доповідались й обговорювалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та молодих вчених «Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах», присвяченій 85-річчю ХНАДУ

(Харків, 2015); V Міжнародній науковій конференції молодих вчених та студентів «Екологія. Довкілля. Молодь» (Полтава, 2015); I Всеукраїнській науково-технічній конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (Дніпропетровськ, 2015); III Международной научно-практической конференции «Современные ресурсосберегающие технологии. Проблемы и перспективы» (Одеса, 2015); XV Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатики і моделювання» (Харків, 2015); XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (Дніпропетровськ, 2015); Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених «Теоретичні та прикладні аспекти застосування інформаційних технологій в галузі природничих наук» (Одеса, 2016).

Публікації. Основні наукові результати дисертації опубліковано в 18 наукових роботах, у тому числі 10 – у виданнях, рекомендованих МОН України (з них 1 – без співавторів, 4 – у наукометричних виданнях), 7 тез доповідей на наукових конференціях, 1 монографія.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації 165 сторінок. Крім основного тексту, викладеного на 132 сторінках, дисертація містить 76 рисунків, 10 таблиць, список використаних джерел із 151 найменування на 20 сторінках і додатки на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** дисертаційної роботи наведена актуальність обраної теми, сформульовані мета і задачі дослідження, розкриті наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, показано особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** виконаний аналіз наявних методів оцінювання параметрів аероіонного режиму в приміщеннях. Представлені результати аналітичного огляду методів і моделей, що використовуються для дослідження параметрів аероіонного режиму в приміщеннях.

Відзначено, що значний внесок у розробку методів дослідження параметрів аероіонного режиму в приміщеннях внесли такі вчені, як А. М. Аргунова, В. Е. Бахрушин, О. І. Запорожець, В. А. Глива, С. В. Сукач, А. Г. Варехов, А. О. Водяник, А. А. Дударев, І. О. Толкунов, С. И. Бурцев, О. Л. Коренівська, О. Є. Лапшин, Л. О. Левченко, О. В. Сидоров, В. Г. Марченко, О. В. Строкань, І. І. Попов, К. А. Чорний, Н. Tammet, Y. S. Mayya, L. A. Fletcher, C. J. Noakes, P. A. Sleight, C. B. Beggs, S. J. Shepherd, C. J. Noakes, K. G. Kerr, W. A. Hoppel, B. K. Saira, A. Khan, F. Sunny, C. Teodosiu, M. S. Waring, J. A. Siegel, C. C. Wu, W. M. Lee, S. Yang та інші.

Виділено кілька груп методів для дослідження параметрів аероіонного режиму в приміщеннях. Встановлено, що методи і моделі, які використовуються для дослідження аероіонного режиму, можна розділити на ряд класів: 1) експериментальні дослідження; 2) графоаналітичні та регресійні моделі; 3) аналітичні моделі; 4) балансові моделі; 5) багатовимірні CFD моделі.

Показано, що фізичний експеримент є потужним засобом дослідження аероіонного режиму в приміщеннях. Аналіз літературних джерел, присвячених експериментальним дослідженням аероіонного режиму, показав, що в даний час постановка й проведення фізичного експерименту для дослідження аероіонного режиму в приміщеннях вимагають застосування високоточного й коштовного обладнання, а також значних матеріальних витрат і затрат часу на постановку і проведення експерименту. Відзначено, що в Україні проблемним питанням є точність вітчизняних приладів.

Виявлено, що для прогнозу аероіонного режиму в приміщеннях знаходять широке застосування спрощені методики розрахунку – графоаналітичні, регресійні, аналітичні. Ці методики дозволяють швидко отримати прогнозну інформацію, проте мають ряд істотних недоліків – вони не надають можливості врахування аеродинаміки повітряних потоків у приміщенні; не враховується вплив різних перешкод (меблів, обладнання і т.п.) на процес розсіювання аероіонів у приміщенні; відсутня можливість урахування місця розташування іонізатора в приміщенні. Такі методики можуть бути застосовані тільки для локального прогнозу аероіонного режиму. В Україні відсутні методики, що дозволяють оцінювати концентрацію аероіонів на різних відстанях від іонізаторів і по всьому приміщенню.

Відзначено, що за кордоном для розрахунку концентрації іонів досить широко використовуються нуль-мірні (балансові або «Black Box Models») моделі. Ці моделі надають можливість швидкого розрахунку, можливість урахування деяких параметрів повітрообміну, процесів взаємодії іонів різної полярності один з одним і з частинками пилу), проте не мають можливості врахування аеродинаміки повітряних потоків у приміщенні та врахування впливу різних перешкод на процес розсіювання аероіонів в приміщенні. Крім того, балансові моделі дають прогнозне значення концентрації аероіонів не в самому приміщенні, а на виході з нього.

Аналіз літературних джерел дозволив зробити висновок, що за кордоном найактивніше розвивається науковий напрям, пов'язаний з розвитком CFD моделей для прогнозу аероіонного режиму в приміщеннях, які дають можливість відтворення в моделі великої деталізації приміщення, майже еквівалентної фізичному експерименту; можливість визначення концентрації іонів в будь-якій області в приміщенні; зручність для аналізу одержаних результатів (візуалізація концентраційного поля) в приміщеннях, в робочих зонах, в місці розташування органів дихання. На сьогодні в Україні спостерігається дефіцит моделей даного класу.

Тому актуальною задачею є розробка багатовимірних CFD моделей для оцінювання, прогнозу та контролю параметрів аероіонного режиму в приміщеннях, а також створення на базі розроблених моделей спеціального програмного забезпечення, що дозволить оцінювати параметри аероіонного режиму в приміщеннях і керувати ними для забезпечення комфортних умов праці при штучній іонізації повітря.

У **другому розділі** розглядаються математичні моделі переносу аероіонів в приміщенні, які базуються на фундаментальних законах механіки суцільного середовища й електростатики та враховують при моделюванні практично всі фізичні

фактори, що впливають на цей процес. Ці моделі використовуються в роботі для вирішення завдань дослідження аероіонного режиму в приміщеннях з комп'ютеризованими робочими місцями. В цьому розділі також розглянуто балансову модель, яка застосовується для експрес-оцінювання параметрів аероіонного режиму в приміщеннях.

Відзначено, що особливостями розглянутих задач, які значно ускладнюють їх вирішення, є такі фактори: 1) наявність у приміщеннях об'єктів, що впливають на аеродинаміку повітряних потоків (меблів, обладнання і т.п.); 2) різний режим вентиляції приміщень; 3) різне положення в приміщенні отворів вентиляції; 4) наявність у приміщенні джерел позитивних іонів, пилу; 5) можливість установки в приміщенні регулювальних екранів. У роботі ставиться задача створення таких CFD моделей, які б враховували при моделюванні всі наведені вище особливості.

Для математичного моделювання розсіювання аероіонів і пилу в приміщеннях використано рівняння масопереносу, що дозволяє враховувати взаємодію іонів різної полярності один з одним і з частинками пилу, а також наявність точкових джерел емісії іонів, має такий вигляд:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(u+bE)C}{\partial x} + \frac{\partial(v+bE)C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \alpha CB - \beta CD + \sum Q_{C_i}(t) \delta(x-x_c) \delta(y-y_c), \quad (1)$$

де C , B , D – концентрація негативних, позитивних аероіонів і частинок пилу відповідно; u , v – компоненти вектора швидкості руху повітряного потоку в приміщенні; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коефіцієнти дифузії; t – час; α – швидкість рекомбінації іонів, що мають різну полярність; β – швидкість комбінації іонів з частинками пилу; Q_{C_i} – інтенсивність емісії негативних іонів у відповідних точках з координатами x_c, y_c ; $\delta(x-x_c)\delta(y-y_c)$ – дельта-функція Дірака; b – коефіцієнт мобільності іонів; E – напруженість електричного поля.

Для опису процесів розсіювання позитивних іонів і пилу будемо використовувати рівняння переносу виду (2, 3), тоді рівняння, що моделює розсіювання позитивних аероіонів і пилу в приміщенні, матимуть вигляд:

$$\frac{\partial B}{\partial t} + \frac{\partial uB}{\partial x} + \frac{\partial vB}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial B}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial B}{\partial y} \right) - \alpha CB - \beta BD + \sum Q_{B_i}(t) \delta(x-x_B) \delta(y-y_B); \quad (2)$$

$$\frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial D}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial D}{\partial y} \right) + \sum Q_{D_i}(t) \delta(x-x_D) \delta(y-y_D). \quad (3)$$

Позначення фізичних параметрів у цих рівняннях збігається з аналогічними позначеннями, наведеними для рівняння (1).

На відміну від моделей, які використовуються в даний час, в розглянутих вище моделювальних рівняннях (1) – (3) враховано моделювання джерела емісії

негативних, позитивних іонів та пилу, а також здійснено врахування рекомбінації іонів різної полярності один з одним і частинками пилу.

Розглянуто постановку граничних умов для рівнянь переносу негативних, позитивних іонів та пилу (1) – (3).

Для моделювання електричного поля, що генерується іонами в приміщенні, використовується рівняння Пуассона для скалярного потенціалу виду:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -\frac{q_e}{\varepsilon_0}, \quad (4)$$

де ε_0 – електрична постійна; q_e – щільність об'ємного заряду, $q_e = -eC(x, y)$; $C(x, y)$ – концентрація негативних аероіонів; ϕ – скалярний потенціал; e – елементарний заряд. Розглянуто постановку граничних умов для рівняння (4).

Для розрахунку аеродинаміки повітряних потоків і визначення поля швидкості повітряного потоку в приміщенні застосована модель потенційної течії. Моделювальним рівнянням є рівняння Лапласа для потенціалу швидкості:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (5)$$

де P – потенціал швидкості.

Компоненти вектора швидкості повітряного середовища пов'язані з потенціалом швидкості такими залежностями:

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (6)$$

Розглянуто постановку граничних умов для рівняння Лапласа.

Чисельна модель, побудована на основі рівнянь (5) і (6) дозволяє, на відміну від наявних, врахувати при моделюванні положення вентиляційних отворів, наявність екранів, меблів, обладнання й перешкод, розташованих в приміщенні, а також взаємодію повітряних потоків у приміщенні зі спрямованим струменем повітря при організації персоналізованої подачі іонізованого повітря в робочу зону.

Для побудови експрес-методу розрахунку концентрації аероіонів у приміщенні були застосовані такі рівняння:

$$\frac{dn}{dt} = q_n(t) - \alpha np - \beta nA + n_0(t) \frac{Q(t)}{V} - n \frac{Q(t)}{V} - \lambda_i n \quad (7)$$

$$\frac{dp}{dt} = q_p(t) - \alpha np - \beta pA + p_0(t) \frac{Q(t)}{V} - p \frac{Q(t)}{V} - \lambda_i p \quad (8)$$

де q_n , q_p – швидкість генерації відповідно негативних і позитивних іонів у приміщенні; n_0 , p_0 – концентрації негативних і позитивних іонів, що надходять ззовні до приміщення; α – швидкість рекомбінації іонів з іонами протилежної полярності; β – швидкість комбінації іонів з частинками пилу; A – концентрація

пилу; V – об’єм приміщення; Q – об’єм повітря, що входить до приміщення за одиницю часу; λ_i – електростатичне осадження іонів; t – час, n , p , A – поточні концентрації негативних, позитивних аероіонів і пилу відповідно.

Для опису масопереносу пилу використовується рівняння:

$$\frac{dA}{dt} = q_A(t) + A_0(t) \frac{Q(t)}{V} - A \frac{Q(t)}{V} - \lambda_p n \quad (9)$$

де q_A – швидкість генерації часток у просторі; A_0 – концентрація частинок пилу, що надходять ззовні до приміщення; λ_p – електростатичне осадження частинок.

Слід зазначити, що в рівняннях (7) – (9) враховується залежність емісії негативних, позитивних аероіонів і пилу в приміщенні від часу і залежність від часу кратності повітрообміну. Система наведених рівнянь замикається завданням початкових умов виду: $A|_{t=0} = A_0$; $n|_{t=0} = n_0$; $p|_{t=0} = p_0$, які визначають початкові значення величин концентрації пилу, негативних і позитивних іонів відповідно перед початком іонізації повітря в приміщенні.

У **третьому розділі** розглянуто різницеві схеми, які використовуються для чисельного інтегрування рівнянь масопереносу, аеродинаміки й електростатики, на базі яких побудована нова чисельна CFD модель. Для чисельного інтегрування рівнянь переносу (1) – (3) спочатку проводиться їх фізичне та геометричне розщеплення, потім використовується неявна попеременно-трикутна різницева схема, реалізована за методом біжного рахунку. Для чисельного рішення рівняння Лапласа і рівняння Пуассона застосовується метод Лібмана. Розрахунок виконується на прямокутній різницевій сітці. Також в даному розділі розглянуто чисельне рішення рівнянь балансової моделі та наведено опис розробленого програмного коду для аналізу, прогнозу та контролю параметрів аероіонного режиму в приміщеннях.

У цьому розділі описано розроблений пакет прикладних програм для аналізу і прогнозу параметрів аероіонного режиму в приміщеннях. Особливістю розробленого програмного забезпечення є можливість урахування в приміщенні меблів та інших перешкод, тобто об’єктів, що впливають на формування концентраційного поля іонів. Для «відтворення» цих та інших об’єктів в процесі формування виду розрахункової області в чисельній моделі використовується технологія «porosity technique», що також має назву «метод маркування». Сутність цієї технології полягає в кодуванні різницевої області, які відносяться до таких об’єктів, і реалізацією в них відповідних граничних умов. Вид розрахункової області задається у файлі вихідних даних, при цьому зміна виду розрахункової області не вимагає корегування розробленого програмного коду. Для розробки програм використовувалась алгоритмічна мова FORTRAN.

Проведена перевірка адекватності (верифікація) й достовірності розроблених моделей, що включає в себе порівняння чисельних даних, одержаних на основі

розроблених моделей з рішеннями, отриманими за допомогою інших методів, а також порівняння чисельних даних з експериментальними даними.

Ці два підходи були використані для тестування побудованих чисельних моделей. Для перевірки адекватності побудованих чисельних моделей наведено ряд тестових завдань, які подані у науково-технічній літературі та відповідають описаним вище вимогам, що забезпечує перевірку розроблених моделей на незалежних даних. Проведений порівняльний аналіз результатів чисельних розрахунків свідчить про те, що побудовані чисельні моделі добре узгоджуються з результатами експериментальних даних, а також з результатами аналітичних рішень інших авторів.

Для верифікації розробленої в дисертаційній роботі CFD моделі був проведений фізичний експеримент, метою якого було підтвердження адекватності моделей, одержаних у результаті виконання задач дисертаційної роботи. У ході експерименту проводилося вимірювання концентрації негативних іонів поблизу діючого іонізатора. Потік повітря створювався за рахунок роботи повітрорудки. Іонізатором повітря був пристрій Airnasa KJF03. Для вимірювання концентрації іонів використовувався лічильник AIR ION TESTER KT-401. Вимірювання швидкості повітряного потоку здійснювалося за допомогою анемометра GM 8908. У результаті проведення експерименту одержано задовільне узгодження між експериментальними і розрахунковими даними.

У **четвертому розділі** розглянуто практичне застосування розроблених пакетів програм для аналізу, оцінювання та керування параметрами аероіонного режиму на комп'ютеризованих робочих місцях і в приміщеннях. Розглянуто три групи задач: 1) розрахунок параметрів аероіонного режиму в приміщенні при подачі іонізованого повітря в приміщення на базі CFD моделі; 2) формування аероіонного режиму в приміщенні при установці іонізатора всередині приміщення на основі CFD моделі; 3) експрес-оцінювання аероіонного режиму на базі балансової моделі.

Результати моделювання наведені в безрозмірному вигляді: кожне число – це величина концентрації у відсотках від величини максимальної концентрації іонів у приміщенні. Друк одержаних результатів здійснено за форматом «ціле число».

Представлені результати рішення задачі з оцінювання аероіонного режиму в приміщенні з двома робочими місцями без наявності та за наявності регулювального екрану (рис. 1, 2).

Як видно з рисунку 2а, концентрація негативних іонів у першій робочій зоні становить близько 53 – 57 % від концентрації іонів у вхідному іонізованому потоці, а на другому робочому місці це буде величина порядку 26 – 31 % від концентрації іонів у вхідному потоці. Якщо поблизу вхідного повітряного потоку розташувати регулювальний екран (рис. 1б), то відбудеться зниження концентрації іонів до 46 – 51 % від концентрації іонів у вхідному іонізованому потоці в першій робочій зоні, а на другому робочому місці це буде величина порядку 23 – 27 % (рис. 2б). Таким чином, варіюючи розміри екрану та його положення, можна керувати концентрацією негативних іонів у робочій зоні.

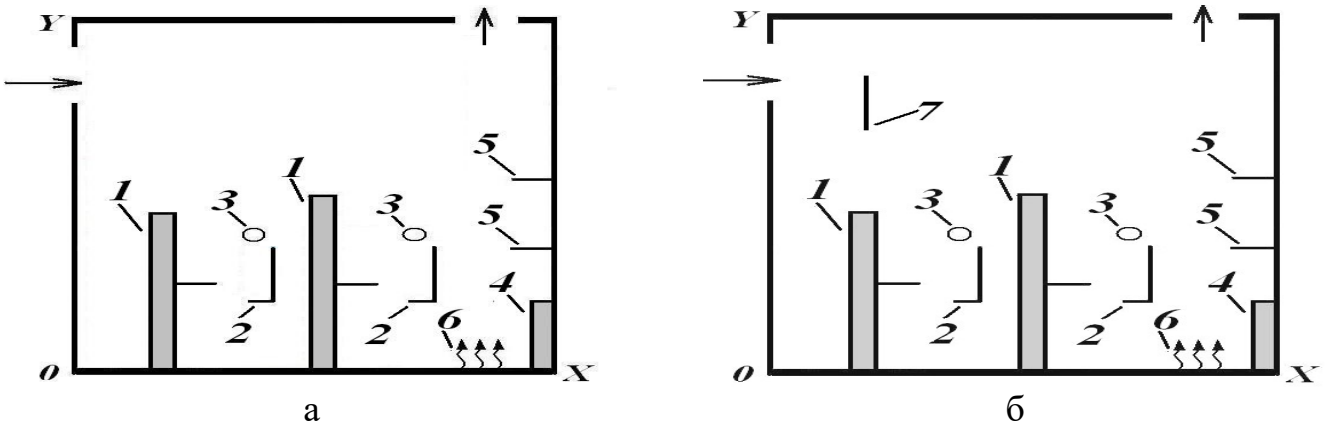


Рис. 1. Схема розрахункової області: а – без екрану; б – за наявності екрану; 1 – робочий стіл; 2 – стілець; 3 – місце емісії позитивних іонів (положення органів дихання); 4 – стіл; 5 – полиці; 6 – місце емісії пилу, 7 – екран

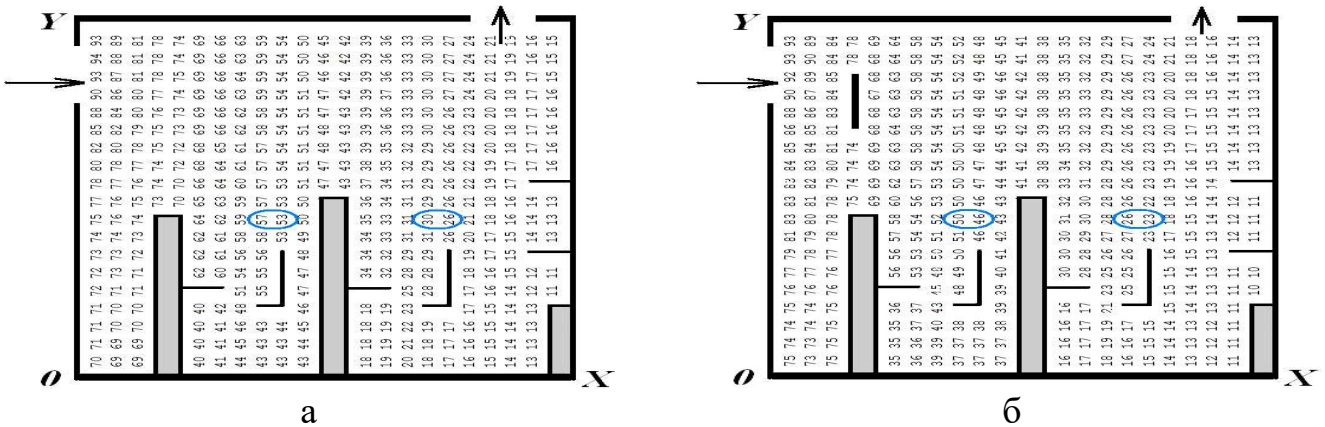


Рис. 2. Розподіл концентрації негативних аероіонів в приміщенні: а – без екрану; б – за наявності екрану

Представлені результати аналізу аероіонного режиму при різних місцях розташування іонізатора всередині приміщення (рис. 3 – 5).

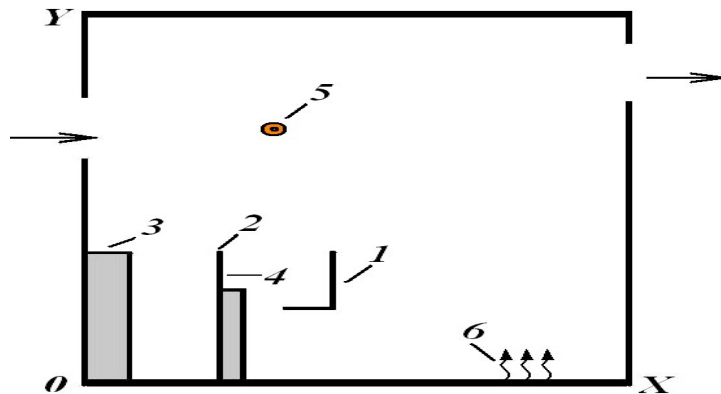


Рис. 3. Схема розрахункової області: 1 – стілець; 2 – робоче місце; 3 – шафа; 4 – джерело емісії позитивних іонів; 5 – іонізатор повітря; 6 – місце емісії пилу

Показано, що варіюючи місця розташування іонізатора, можна керувати параметрами аероіонного режиму в приміщенні.

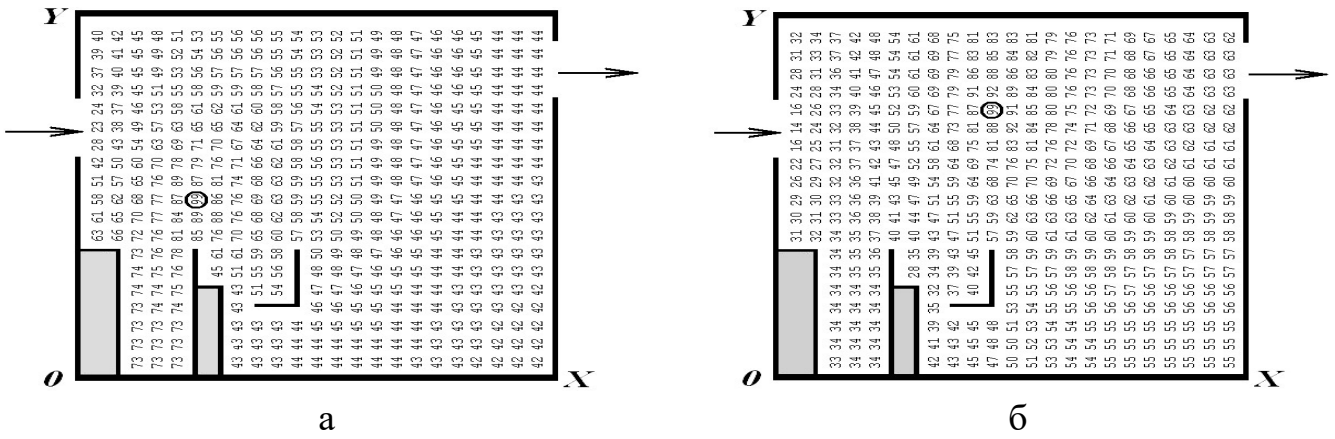


Рис. 4. Розподіл концентрації негативних аероіонів у приміщенні: а – перший варіант розташування іонізатора; б – другий варіант розташування іонізатора

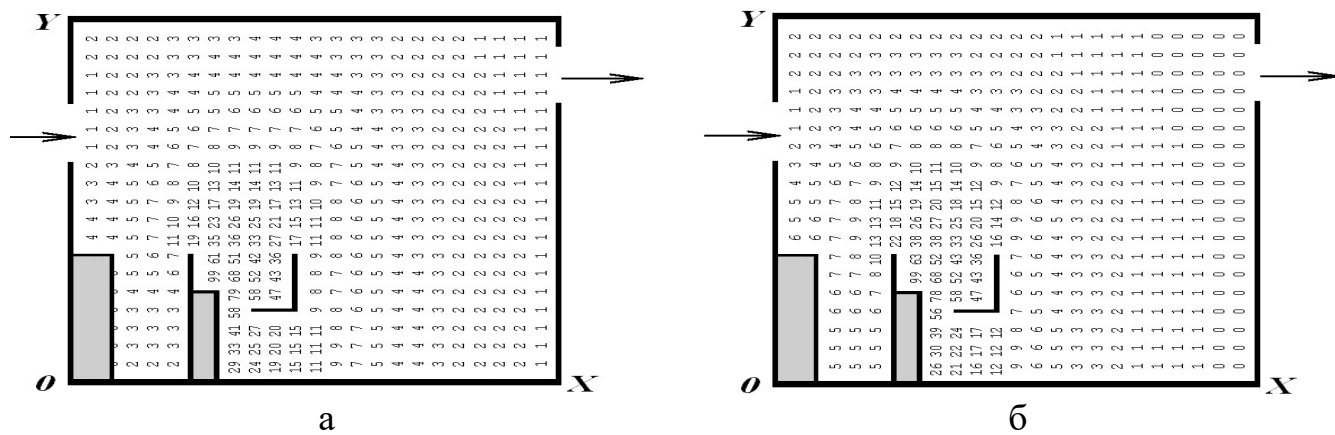


Рис. 5. Розподіл концентрації позитивних аероіонів в приміщенні: а – перший варіант розташування іонізатора; б – другий варіант розташування іонізатора

Розглянуто рішення задачі аналізу аероіонного режиму в приміщенні при установці іонізатора у верхній частині приміщення й емісії позитивних іонів всередині меблів (рис. 6). Розрахунок проведено для різних за інтенсивністю варіантів емісії негативних аероіонів від іонізатора, одержано матриці значень негативних (рис. 7), позитивних (рис. 8) іонів і пилу в приміщенні.

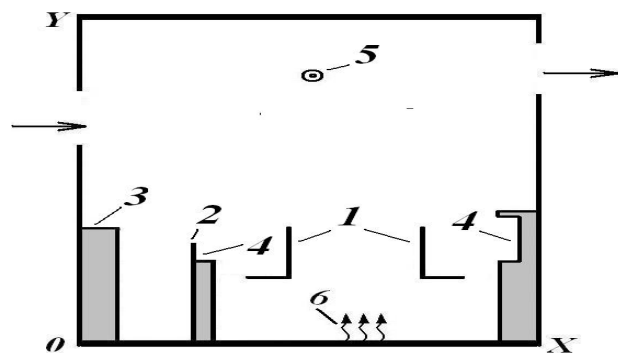


Рис. 6. Схема розрахункової області (два робочих місця): 1 – стілець; 2 – робоче місце (комп'ютер); 3 – шафа; 4 – джерело емісії позитивних іонів; 5 – іонізатор повітря; 6 – місце емісії пилу

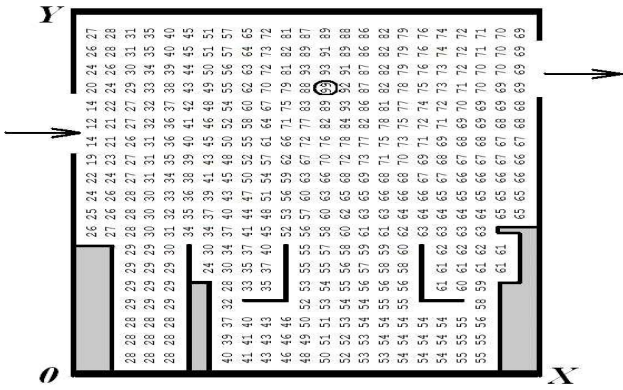


Рис. 7. Розподіл концентрації негативних аероіонів

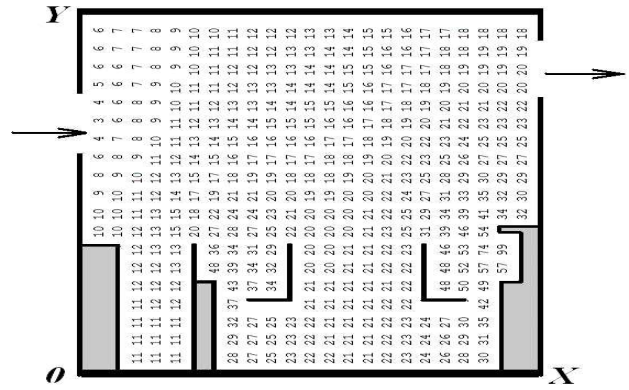


Рис. 8. Розподіл концентрації позитивних аероіонів

Розглянуто вирішення специфічної задачі при організації персоналізованої подачі повітря в робочу зону, як показано на рисунку 9. При моделюванні враховується швидкість виходу іонізованого струменя повітря.



Рис. 9. Принцип подачі «персоналізованого повітря»: невелика кількість чистого іонізованого повітря м'яко подається безпосередньо в зону дихання людини

Вид розрахункової області показаний на рисунку 10, результати чисельного моделювання наведені на рисунку 11. Добре видно підзону з великим градієнтом концентрації іонів біля іонізатора на стелажі, тобто там, де виходить струмінь іонізованого повітря (рис. 11).

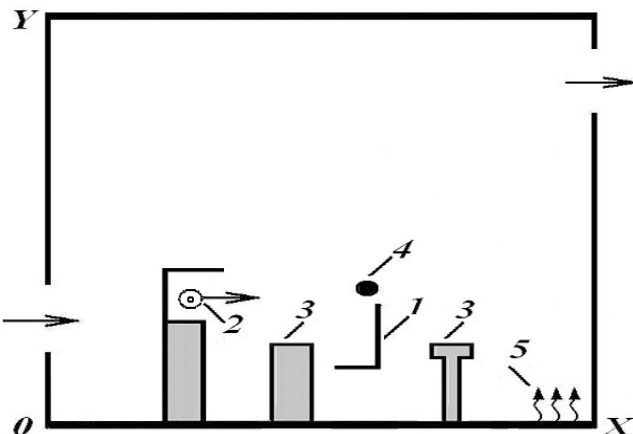


Рис. 10. Схема розрахункової області:
1 – стілець; 2 – іонізатор повітря;
3 – стелажі; 4 – місце емісії позитивних іонів; 5 – місце емісії пилу

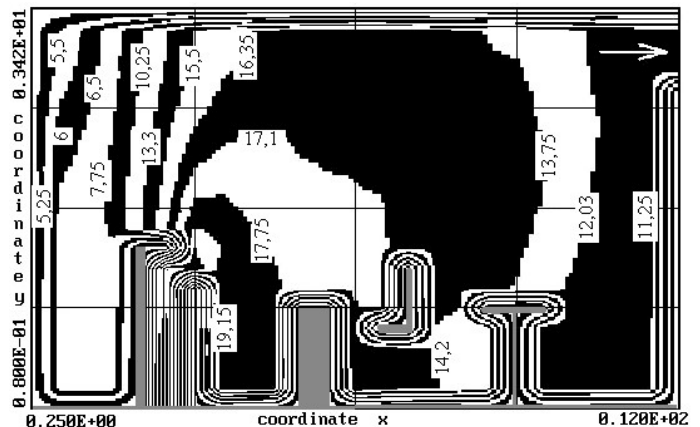


Рис. 11. Розподіл концентрації негативних аероіонів у приміщенні ($C_w \cdot 10^{-9}$, частинок/м³)

Розроблена чисельна CFD модель була застосована для моделювання аероіонного режиму в приміщенні, у якому було здійснено перестановку обладнання, тобто був виконаний реінжиніринг. Схему розрахункової області до й після реінжинірингу показано на рисунку 12. Повітря надходить в приміщення через вентиляційний отвір в лівій стінці приміщення, як показано на рисунку. Вихід повітря з приміщення відбувається через вихідний отвір у стіні праворуч. Робоча зона включає в себе стіл і розташований поруч стілець. Розміщення іонізатора показано на рисунку 12, позиція 5.

Результати чисельного моделювання наведено на рисунку 13. Як показано на рисунку 13, концентрація негативних іонів в області органів дихання працівників (позиція над стільцем) до проведення реінжинірингу становить близько $0,032 \times 10^{12}$ частинок/м³, а після реінжинірингу – $0,015 \times 10^{12}$ частинок/м³, тобто, концентрація зменшилася в 2 рази через вплив встановленого обладнання (рис. 12б, позиція 8) на формування концентраційного поля аероіонів.

Для повноти картини в результаті обчислювального експерименту були також визначені концентрації позитивних іонів і пилу перед реінжинірингом і після нього.

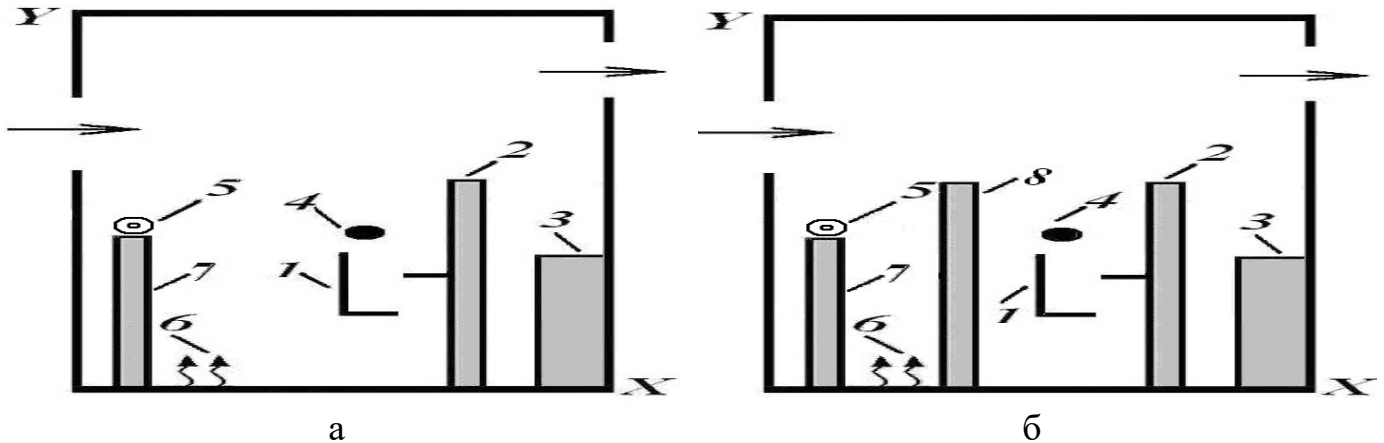


Рис. 12. Розрахункова область: а – до реінжинірингу; б – після реінжинірингу;
1 – стілець; 2 – робочий стіл; 3 – стелаж; 4 – місце емісії позитивних іонів
(положення органів дихання); 5 – іонізатор; 6 – місце викиду пилу;
7 – тумба; 8 – шафа

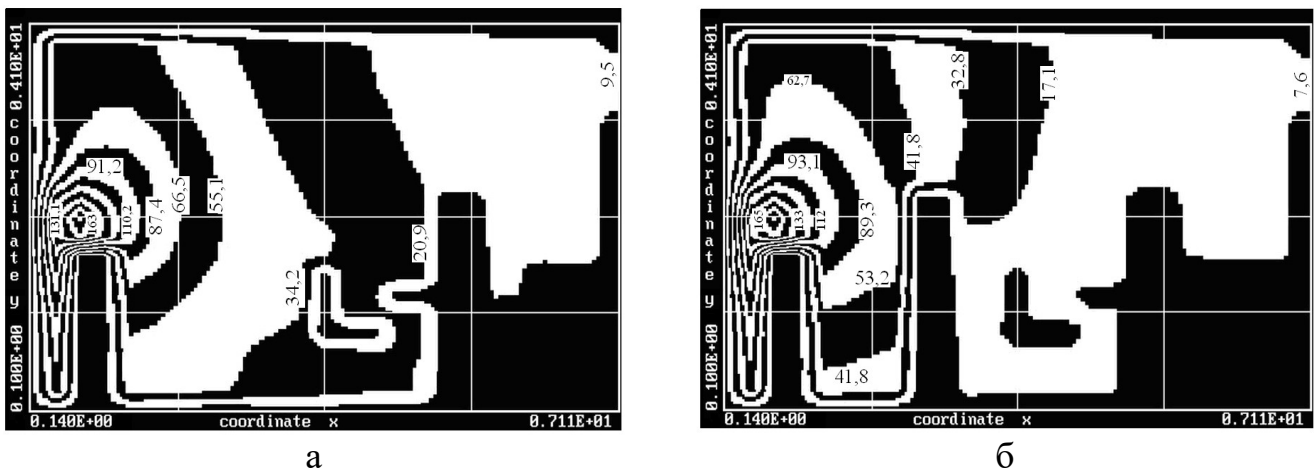


Рис. 13. Концентраційне поле негативних аероіонів у приміщенні
($C_w \cdot 10^{-9}$, частинок/м³): а – до реінжинірингу; б – після реінжинірингу

Показано, що можна впливати на параметри аероіонного режиму шляхом зміни просторових факторів, наприклад, перестановкою обладнання в приміщенні, що особливо важливо при організації нових робочих місць, або ж при необхідності проведення реінжинірингу або редизайну приміщення.

Розглянуто задачу розрахунку концентраційного поля аероіонів у приміщенні з розташованим всередині нього іонізатором (рис. 14). У приміщенні передбачалася можливість установки екрану для регулювання концентрації аероіонів. Схему розрахункової області до установки екрану показано на рисунку 14а, після установки екрану – на рисунку 14б; на рисунку 15 наведено результати чисельного моделювання.

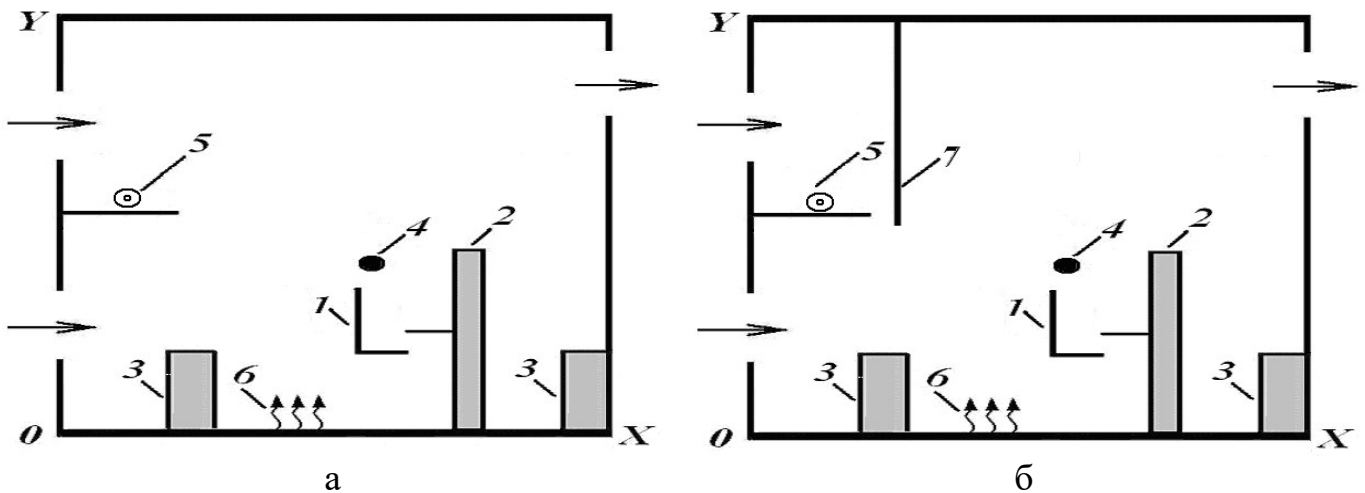


Рис. 14. Схема розрахункової області: а – без екрану; б – за наявності екрану; 1 – стілець; 2 – робочий стіл; 3 – стелаж; 4 – місце емісії позитивних іонів (положення органів дихання); 5 – іонізатор повітря; 6 – місце емісії пилу; 7 – екран

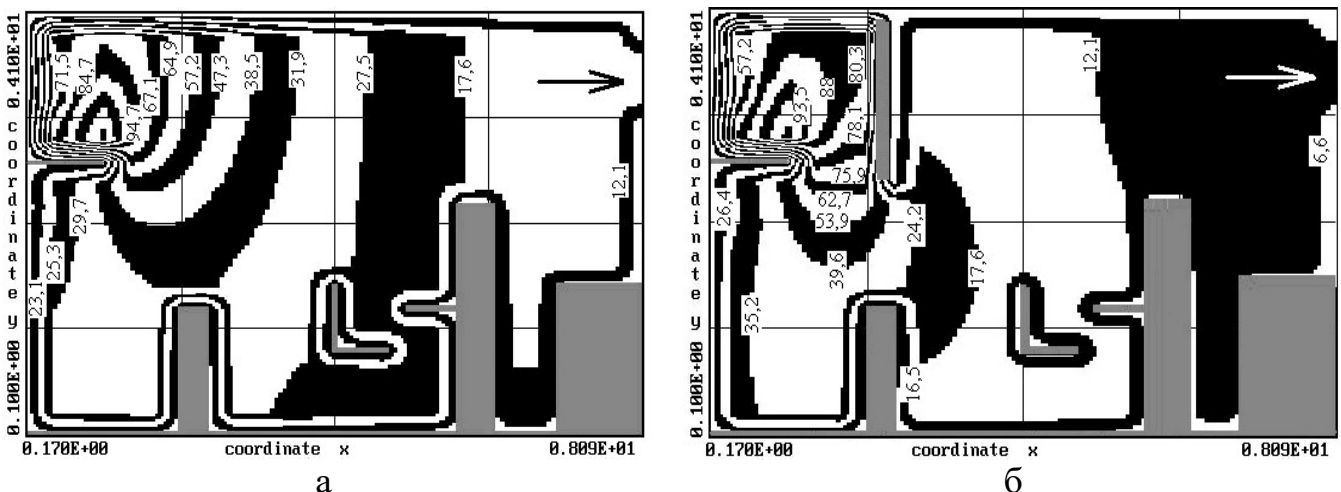


Рис. 15. Розподіл концентрації негативних аероіонів у приміщенні ($C_w \cdot 10^{-10}$, частинок/м³): а – без екрану; б – за наявності екрану

Показано, що змінити інтенсивність концентраційного поля іонів в приміщенні можна шляхом застосування регульовального екрану. Екран може бути розташований по-різному щодо іонізатора та робочих зон, при цьому раціональне положення екрану в приміщенні може бути визначено шляхом розрахунку різних

варіантів його розміщення за допомогою розробленої чисельної моделі.

Проведено розрахунок концентраційного поля негативних аероіонів для приміщення з одним робочим місцем і встановленим всередині приміщення іонізатором. У приміщенні передбачено можливість установки невеликих місцевих екранів для регулювання концентрації аероіонів. Схему розрахункової області до установки екрану показано на рисунку 16а, після установки екрану – на рисунку 16б; на рисунку 17 наведено результати чисельного моделювання.

Показано, що наявність екрану істотно впливає на форму та інтенсивність концентраційного поля іонів. Екран дозволяє змінити величину концентрації іонів у приміщенні й, зокрема, на робочому місці, що вкрай важливо для регулювання параметрів аероіонного режиму.

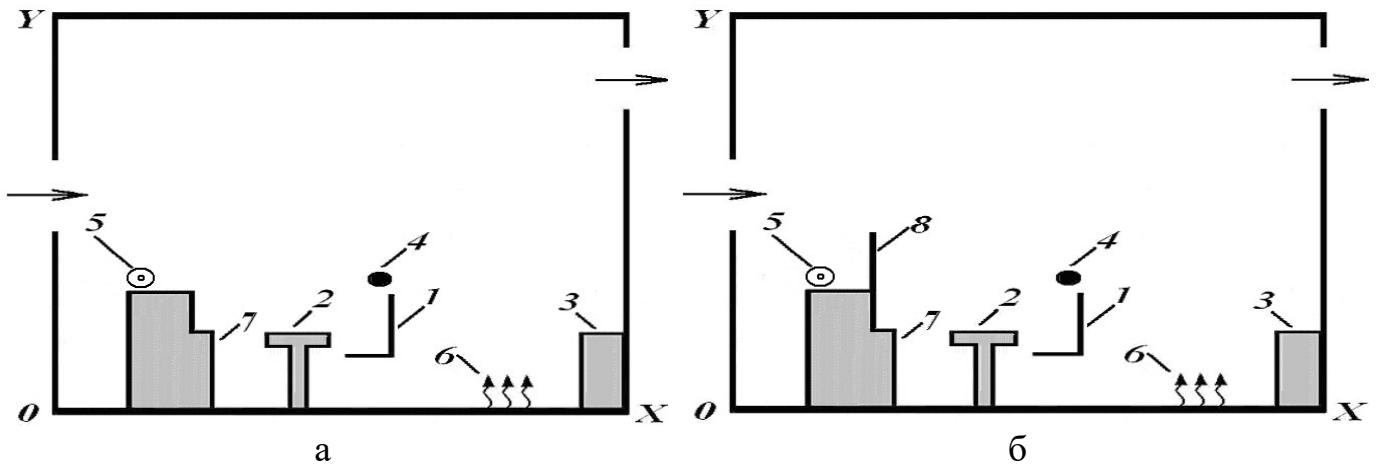


Рис. 16. Схема розрахункової області: а – без екрану; б – за наявності екрану;
1 – стілець; 2 – робочий стіл; 3 – стелаж; 4 – місце емісії позитивних іонів
(положення органів дихання); 5 – іонізатор повітря; 6 – місце емісії пилу;
7 – тумба; 8 – екран

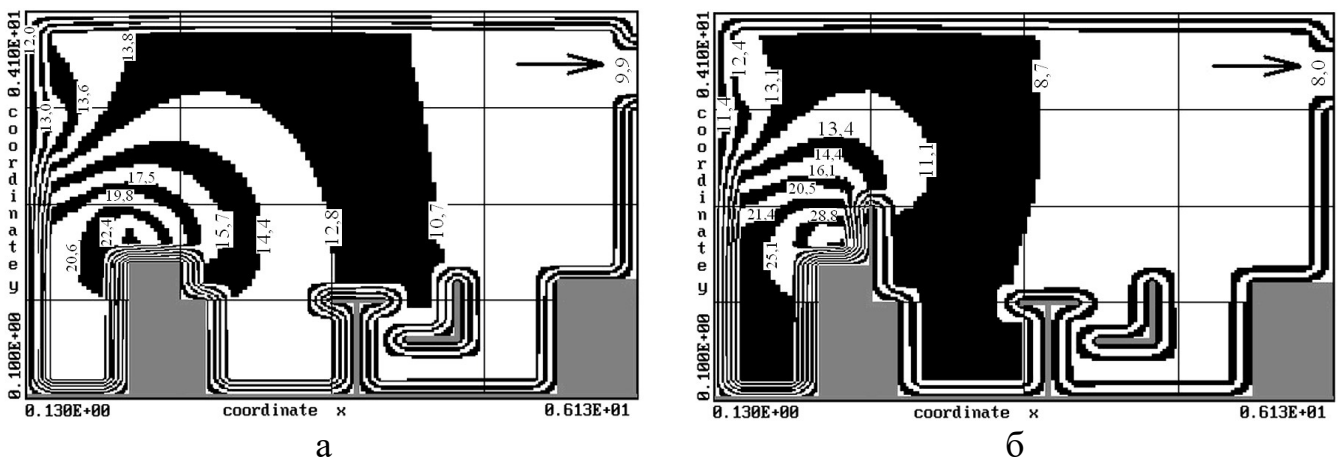


Рис. 17. Розподіл концентрації негативних аероіонів в приміщенні
($C_w \cdot 10^{-9}$, частинок/м³): а – без екрану; б – за наявності екрану

На базі чисельної балансової моделі був проведений обчислювальний експеримент з прогнозу аероіонного режиму в приміщенні при наступних вихідних даних: об'єм приміщення – 62 м³; концентрація негативних іонів, що надходять до приміщення через систему вентиляції, становить 2×10^3 частинок/м³; концентрація

позитивних іонів, що надходять в приміщення через систему вентиляції – 10×10^3 частинок/м³; концентрація пилу, що надходить в приміщення також через вентиляційну систему, становить 6×10^3 частинок/м³; інтенсивність емісії негативних, позитивних іонів і пилу $Q_c = 7 \times 10^7$ частинок/с, $Q_p = 6 \times 10^4$ частинок/с, $Q_A = 22 \times 10^3$ частинок/с відповідно. Слід підкреслити, що в цій задачі розглядається періодична дія іонізатора, тобто емісія негативних іонів здійснюється на часових інтервалах (рис. 18) $[0 - t_1]$, $[t_2 - t_3]$, $[t_4 - t_5]$ тощо. На часових інтервалах $[t_1 - t_2]$ $[t_3 - t_4]$ іонізатор не проводить емісію. При розрахунках прийнято, що викид здійснюється протягом трьох хвилин, далі на інтервалі 3 – 10 хвилин емісії негативних іонів немає, потім знову здійснюється викид, тобто моделюється складна реальна ситуація.

Одержано динаміку концентрації негативних аероіонів в приміщенні, яку наведено в таблиці 1.

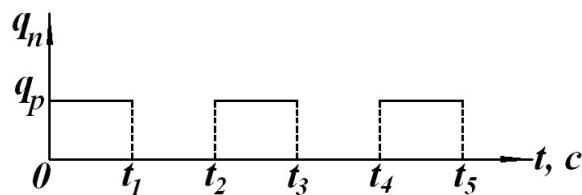


Рис. 18. Часові інтервали емісії негативних іонів

Таблиця 1

Динаміка концентрації негативних аероіонів у приміщенні

t , сек	30	60	180	480
c , частинок/м ³	$0,18 \cdot 10^{10}$	$0,39 \cdot 10^{10}$	$0,11 \cdot 10^{11}$	$0,99 \cdot 10^{10}$
t , сек	543	597	708	720
c , частинок/м ³	$0,95 \cdot 10^{10}$	$0,92 \cdot 10^{10}$	$0,15 \cdot 10^{11}$	$0,16 \cdot 10^{11}$

Показана можливість виконання розрахунку параметрів аероіонного режиму при імпульсній роботі іонізаторів або при імпульсній подачі іонізованого повітря в приміщення, що особливо актуально для спеціалізованих «чистих» приміщень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз наукових робіт, присвячених проблемі прогнозу параметрів аероіонного режиму в приміщеннях, показав, що на сьогодні відсутні методи оцінювання концентраційних полів аероіонів на комп'ютеризованих робочих місцях і в приміщеннях. Тому розробка CFD моделей для оцінювання, прогнозу та контролю параметрів аероіонного режиму в приміщеннях, а також створення на базі розроблених моделей спеціального програмного забезпечення є важливим актуальним завданням.

2. Вперше встановлено закономірності розподілу концентрації негативних і позитивних аероіонів у приміщенні в залежності від просторових характеристик приміщення і режиму штучної іонізації.

3. Вперше встановлено залежності зміни параметрів аероіонного режиму при застосуванні регульовальних екранів усередині приміщення з урахуванням динаміки повітряного потоку, електричного поля заряджених частинок, дифузії та емісії іонів.

4. Вперше розроблено чисельну модель, яка дозволяє обґрунтувати параметри нормалізації аероіонного режиму в приміщеннях при штучній іонізації повітря з урахуванням аеродинамічних властивостей повітряного середовища, рекомбінації іонів і їх дрейфу під дією електростатичних полів, що дозволяє проводити прогноз і керування аероіонним режимом за вимогами санітарних норм при аероіонізації повітря в приміщенні.

5. Удосконалено метод оцінювання та контролю аероіонного режиму в приміщеннях, заснований на застосуванні балансової моделі, що дозволяє врахувати кратність повітрообміну й емісію аероіонів і пилу в приміщенні з комп'ютеризованими робочими місцями.

6. На платформі розроблених чисельних моделей розроблено комп'ютерне програмне забезпечення (код), що дозволяє виконувати багатоваріантні розрахунки параметрів аероіонного режиму в приміщеннях.

7. Достовірність одержаних результатів підтверджується коректністю постановок задач; використанням апробованих математичних моделей розсіювання аероіонів з урахуванням основних фізичних факторів, що впливають на формування поля іонів; експериментальною перевіркою основних положень; задовільним узгодженням результатів теоретичних досліджень й експериментальних робіт; позитивними результатами впровадження розробок у практику роботи підприємств.

8. Розроблений програмний код може бути використаний для прогнозу аероіонного режиму у виробничих приміщеннях без обмеження їх функціональної спрямованості, а також у спеціалізованих «чистих» приміщеннях.

9. Впроваджено результати роботи в практику підприємств Дніпровський завод будівельних матеріалів, ТОВ ПКФ «Біотон» для аналізу та прогнозу параметрів аероіонного режиму при розробці заходів щодо нормалізації якості повітряного середовища в робочих приміщеннях підприємств, що дозволяє забезпечувати сприятливі гігієнічні умови праці персоналу при аероіонізації повітря в приміщенні.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукова монографія

1. Беляев Н. Н. Моделирование аэроионного режима в помещениях при искусственной ионизации воздуха: [монография] / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова. – Днепропетровск: ГВУЗ ПГАСА, 2016. – 109 с.

Статті у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз:

2. Biliaiev M. M. Calculation of air ion regime in the case of artificial air ionization / M. M. Biliaiev, S. G. Tsygankova // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ДВНЗ ПДАБА, 2015. – №10(211). – С. 61 – 67.

3. Беляев Н. Н. CFD моделирование аэроионного режима в помещениях / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Технічні науки та технології: науковий журнал. – Чернівці: Черніг. нац. технол. ун-т, 2015. – №2(2). – С. 242 – 247.

4. Беляев Н. Н. CFD моделирование аэроионного режима в рабочих зонах в условиях искусственной ионизации воздуха / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2016. – Вип. 1 (61). – С. 39 – 47.

5. Biliaiev M. M. Complex of numerical models for computation of air ion concentration in premises / M. M. Biliaiev, S. G. Tsygankova // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2016. – Вип. 2 (62). – С. 16 – 24.

Статті у наукових фахових виданнях України:

6. Беляев Н. Н. Оценка аэроионного режима в рабочих зонах на базе CFD модели / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №46. – С. 168 – 173.

7. Беляев Н. Н. Расчет аэроионного режима в помещении и в рабочей зоне на базе численной модели / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №47. – С. 137 – 143.

8. Беляев Н. Н. Оценка аэроионного режима в рабочей зоне при искусственной ионизации воздуха в помещении / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, 2015. – №3(81). – С. 158 – 161.

9. Цыганкова С. Г. Проблемно-ориентированный пакет программ для расчета аэроионного режима в помещениях / С. Г. Цыганкова // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – №49. – С. 280 – 284.

10. Беляев Н. Н. Математическое моделирование аэроионного режима в помещении при искусственной ионизации воздуха / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ГВУЗ ПГАСА, 2015. – Вып. 83. – С. 40 – 46.

11. Беляев Н. Н. Численные модели для экспресс расчета концентрации аэроионов в помещении / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Науковий вісник будівництва: збірник наукових праць. – Харків: ХНУБА, 2015. – №4(82). – С. 190 – 193.

Тези доповідей:

12. Беляев Н. Н. Численное моделирование аэроионного режима в рабочих зонах / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Проблеми інформатики і моделювання: тези п'ятнадцятої міжнародної науково-технічної конференції, 14–18 вересня 2015 р. – Харків: НТУ ХПІ, 2015. – С. 21.

13. Беляев Н. Н. Модели для экспресс оценки концентрации аэроионов в помещении при искусственной ионизации воздуха / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Екологія. Довкілля. Молодь: матеріали V Міжнародної наукової конференції молодих вчених та студентів, 22–29 жовтня 2015 р. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – С. 41 – 45.

14. Беляев Н. Н. Выбор рационального режима искусственной ионизации воздуха в рабочих помещениях / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих вчених, 28–29 жовтня 2015 р. – Харків: ХНАДУ, 2015. – С. 77 – 79.

15. Беляев Н. Н. Компьютерное моделирование процесса искусственной ионизации воздуха в помещении / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем: матеріали I Всеукраїнської науково-технічної конференції, 3–5 листопада 2015 р. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2015. – Ч. 1 – С. 42.

16. Беляев Н. Н. Прогноз аэроионного режима в помещениях / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Современные ресурсосберегающие технологии. Проблемы и перспективы: сборник научных докладов III международной научно-практической конференции, 9–13 листопада 2015 р. – Одесса: ОНУ ім. И. И. Мечникова, 2015. – С. 182 – 184.

17. Беляев Н. Н. Численные модели для прогноза аэроионного режима в помещениях / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: тези доповідей XIII міжнародної науково-практичної конференції, 18–20 листопада 2015 р. – Дніпропетровськ: ДНУ ім. О. Гончара, 2015. – С. 22 – 23.

18. Беляев Н. Н. К вопросу регулирования аэроионного режима в рабочей зоне / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Теоретичні та прикладні аспекти застосування інформаційних технологій в галузі природничих наук: збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, 20–22 квітня 2016 р. – Одеса: ОДЕКУ, 2016. – С. 18 – 19.

АНОТАЦІЯ

Цыганкова С. Г. Обґрунтування параметрів нормалізації аероіонного режиму в приміщеннях при штучній іонізації повітря. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – охорона праці. – Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, 2017.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню завдання обґрунтування параметрів нормалізації аероіонного режиму в приміщеннях при штучній іонізації повітря шляхом моделювання процесу розсіювання аероіонів, прогнозу та керування зазначеними показниками.

У роботі одержані такі результати: розроблено нову 2D CFD модель для оцінювання та прогнозу параметрів аероіонного режиму в приміщеннях, яка дозволяє при дослідженнях враховувати геометричні характеристики приміщення, наявність встановленого обладнання, розташування вентиляційних отворів, режим штучної іонізації повітря, наявність джерел емісії аероіонів і пилу; для експрес-оцінювання параметрів аероіонного режиму в приміщеннях запропонована балансова модель, що відрізняється від відомих урахуванням залежності емісії аероіонів і пилу в приміщенні від часу й залежності від часу кратності

повітрообміну; на основі побудованих чисельних моделей розроблено програмні коди для їх практичної реалізації; проведено експериментальні та теоретичні дослідження, які підтвердили адекватність розроблених чисельних моделей.

Результати роботи впроваджені в практику підприємств Дніпровський завод будівельних матеріалів, ТОВ ПКФ «Біотон» для аналізу та прогнозу параметрів аероіонного режиму при розробці заходів щодо нормалізації якості повітряного середовища в робочих приміщеннях підприємств.

Ключові слова: аероіон, штучна іонізація повітря, CFD модель, балансова модель, чисельне моделювання, приміщення, комп'ютеризоване робоче місце.

АННОТАЦІЯ

Цыганкова С. Г. Обоснование параметров нормализации аэроионного режима в помещениях при искусственной ионизации воздуха. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.01 – охрана труда. – Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», Днепр, 2017.

Диссертационная работа посвящена решению задачи обоснования параметров нормализации аэроионного режима в помещениях при искусственной ионизации воздуха путем моделирования процесса рассеивания аэроионов, прогноза и управления указанными показателями.

На основании аналитического обзора существующих методов исследования аэроионного режима показана перспективность разработки численных моделей для расчета параметров аэроионного режима при искусственной ионизации воздуха в помещениях.

Разработана новая 2D CFD модель для оценки и прогноза параметров аэроионного режима в помещениях, позволяющая при исследованиях учитывать геометрические характеристики помещения, наличие установленного оборудования, расположение вентиляционных отверстий, режим искусственной ионизации воздуха, наличие источников эмиссии аэроионов и пыли. Для решения аэродинамической задачи используется модель потенциального течения идеальной жидкости. Процесс рассеивания аэроионов и пыли в помещении описывается с помощью двухмерного уравнения массопереноса, для численного интегрирования которого используются неявные разностные схемы. Для задания формы расчетной области используется метод маркирования. Для численного интегрирования уравнения для потенциала скорости используется метод Либмана и метод суммарной аппроксимации. Для численного интегрирования уравнения Пуассона для скалярного потенциала электрического поля применен метод Либмана.

Для экспресс-оценки параметров аэроионного режима в помещениях предложена балансовая модель, отличающаяся от известных учетом зависимости эмиссии аэроионов и пыли в помещении от времени и зависимости от времени кратности воздухообмена. Для численного интегрирования уравнений балансовой модели применен метод Эйлера.

На основе построенных численных моделей разработаны программные коды для их практической реализации. Проведены экспериментальные и теоретические исследования, подтверждающие адекватность разработанных численных моделей.

Разработанные численные модели были использованы для оценки, прогноза и управления параметрами аэроионного режима в помещениях при различных способах организации режима искусственной ионизации воздуха. Показана возможность управления аэроионным режимом с помощью регулирующих экранов. Представлены результаты экспресс оценки аэроионного режима в помещениях.

Результаты работы внедрены в практику предприятий Днепропетровский завод строительных материалов, ООО ПКФ «Биотон» для анализа и прогноза параметров аэроионного режима при разработке мероприятий по нормализации качества воздушной среды в рабочих помещениях предприятий.

Ключевые слова: аэроион, искусственная ионизация воздуха, CFD модель, балансовая модель, численное моделирование, помещение, компьютеризованное рабочее место.

SUMMARY

Tsygankova S. G. Substantiation of the air ion regime normalization parameters in rooms at artificial ionization of air. – On the rights of the manuscript.

The thesis for a Candidate degree in technical sciences on the specialty 05.26.01 – labor protection. – State Higher Education Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture» of Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2017.

The thesis is dedicated to solving of the problem which is the substantiation of the air ion regime normalization parameters in the rooms at the artificial ionization of air by simulating the process of air ion dispersion and prognosis and controlling of these parameters.

The following results were obtained. A new 2D CFD model for estimation and prognosis of the air ion regime parameters in the rooms has been developed. The model allows taking into account the rooms geometric characteristics, the presence of installed equipment and furniture, the location of ventilation holes, the regime of air artificial ionization, the presence of air ions and dust emission sources.

A balance model for the express estimation of the air ion regime parameters in the rooms was proposed which is taking into account dependence of the air ions and dust emission in the rooms on the time and dependence of the air exchange rate on the time.

For the practical implementation software codes which are based on the constructed numerical models have been developed. Experimental and theoretical studies which confirmed the adequacy of the developed numerical models have been carried out.

The results of these studies and the developed recommendations are used and accepted for implementation in the Dneprovsky plant of building materials and LTD CME «Bioton» for analysis and prognosis of air ion regime parameters in the development of air quality normalization in the enterprises rooms.

Keywords: air ion, artificial ionization of air, mass transfer, CFD model, balance model, room, computerizes workplace.

ЦИГАНКОВА СВІТЛАНА ГРИГОРІВНА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НОРМАЛІЗАЦІЇ АЕРОІОННОГО
РЕЖИМУ В ПРИМІЩЕННЯХ ПРИ ШТУЧНІЙ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ**

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 31.03.2017 р. Формат 60x84/16.
Ум. друк. арк. 1,08. Тираж 100 пр. Зам. № 47.

Видавництво і друкарня «Ліра»
49000, м. Дніпро, вул. Наукова, 5
Свідоцтво про внесення до Держреєстру
ДК №188 від 19.09.2000 р.