

УДК: 51-74

Л.І. Леві, О.М. Петровський

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ІОННОВІТРОВОГО УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ОЗОНАТОРА-ЗНЕЗАРАЖУВАЧА ПОВІТРЯ

В статті розглянуто математичну модель роботи іонновітрового ультрафіолетового озонатора-знезаражувача повітря. Проведено аналіз існуючих конструкцій озонаторів. Розроблено конструкцію іонізатора-знезаражувача. Запропоновано використання іонного вітру в якості системи руху повітря, що дозволяє одночасно виробляти озон, іонізувати потік повітря та відповідно знезаражувати його. Використано ультрафіолетове знезараження. Представлена математична модель створення іонного вітру і негативних аерофонів. На основі математичного моделювання проведено експериментальні дослідження з визначення швидкості іонного вітру, які засвідчили правильність теоретичних тверджень.

Ключові слова: математична модель, іонний вітер, озон, іон, швидкість, електричне поле, ультрафіолетове випромінювання.

Вступ

Запобігання розповсюдження захворювань - основне завдання процесу знезараження повітря та поверхонь. Особливо гостро ця проблема стоїть у місцях великого скупчення людей, тварин, погано вентильованих приміщеннях, а також в приміщеннях з рециркуляцією повітря. Застосування різних фізичних впливів в даний час стає все більш актуальним, оскільки є одним з головних методів інактивації вірусів, бактерій і грибків [1]. Поява штучних джерел ультрафіолетового випромінювання дала можливість вирішити питання бактерицидного знезараження середовищ [2]. Особливо актуальним є поєднання ультрафіолетового опромінення з іншими фізичними факторами впливу такими як озонування і іонізація.

Мета досліджень: моделювання електрофізичних процесів іонізації середовищ. Створення конструктивно простих і технологічно ефективних іонізаторів середовищ в основу роботи яких покладено принцип іонного вітру, ефекту Бифельда-Брауна, коронного розряду, ультрафіолетового випромінювання.

Аналіз літературних джерел. Штучні іонізатори бувають: електричні уніполярні і біполярні, радіоактивні, з використанням ефекту розбризкування води, ультрафіолетового випромінювання і інші. Найчастіше застосовують штучні іонізатори, засновані на використанні коронного розряду. Першими застосовувалися уніполярні іонізатори, які окрім корисних ефектів виробляли ще електростатичне поле і озон. Для з'ясування якості штучно іонізованого повітря були досліджені всі можливі види іонізаторів [3, 4].

Термоелектронні аероіонізатори. Принцип дії аероіонізаторів цього типу заснований на використанні термоелектронної емісії розпечених металів при їх нагріванні до високої температури (500 – 2000 °С). Звільнення електронів з металу вимагає витрати певної енергії, яку називають «енергія виходу».

Радіоізотопні аероіонізатори. Принцип дії аероіонізаторів цього типу заснований на властивості променів радіоактивних речовин іонізувати повітря.

Фотоелектричні аероіонізатори. Принцип дії аероіонізаторів цього типу заснований на використанні короткохвильових ультрафіолетових променів, що випускаються ртутно-кварцовими лампами [3]. Найбільш відомі конструкції аероіонізаторів Я.Ю. Рейнета і А.К. Гумана. Фотоелектричні аероіонізатори не отримали широкого розповсюдження.

Гідродинамічні аероіонізатори. Принцип дії гідродинамічних аероіонізаторів (гідроаероіонізатори) заснований на баллоелектричному ефекті, що полягає в електризації найдрібніших крапель рідини, що виникають при дробленні і розпиленні води. Гідроаероіонізатори являють собою чашу, у верхній частині якої знаходяться трубки, що закінчуються розпилювачами. Викидаючись з розпилювачів струмені води вдаряються об корборундовий диск, у результаті чого відбувається баллоелектричний ефект. Концентрація легких аероіонів, що виникають при цьому, залежить від тиску води, яка витікає з розпилювачів.

Коронні аероіонізатори [4]. У аероіонізаторів цього типу повітря іонізується за допомогою коронного розряду, що утворюється поблизу вістря або тонкого дроту при напрузі в декілька тисяч вольт.

Поряд з аероіонізацією важливим аспектом створення мікроклімату є обеззараження повітря. Зменшити кількість бактерій можливо наступними способами: озонуванням; ультрафіолетовим опроміненням; розпиленням дезінфікуючих розчинів.

Збільшення кількості озону досягається в процесі створення іонного вітру в області коронуєчого електроду, або при іскровому розряді. Змінюючи режими роботи іонновітрового знезаражувача (змінна напруги на електродах, зміна полярності, зміна відстані між електродами) можна досягати різних концентрацій озону. Найменша концентрація озону O_3 ная-

вна при негативній короні 15 г/кВт-год [5]. Середня концентрація 25 г/кВт-год – при позитивній короні. Найбільша концентрація при іскровому розряді до 250 г/кВт-год. Однак великі концентрації озону в повітрі шкідливі. Висока окислююча здатність озону і утворення в багатьох реакціях з його участю вільних радикалів кисню визначають його високу токсичність. Вплив озону на організм може призводити до передчасної смерті. Найбільш небезпечна дія: на органи дихання прямим подразненням і пошкодженням тканин; на холестерин в крові людини з утворенням нерозчинних форм, що призводить до атеросклерозу; на органи розмноження у самців всіх видів тварин, у тому числі і людини (вдихання цього газу вбиває чоловічі статеві клітини і перешкоджає їх утворенню).

Основні результати теоретичних досліджень

Іонний вітер – електрофізичне явище, при якому рух газу створюється за допомогою електричного поля, що створюється електростатичним прискорювачем. Електростатичний прискорювач (ЕП) – пристрій, що надає рух газам, зокрема – повітрю без яких-небудь рухомих частин. Замість механічної енергії лопатей, що обертаються, як в звичайних вентиляторах, ЕП використовує електричне поле для додачі рушійного моменту електрично зарядженим молекулам повітря. ЕУ є досить простими пристроями, що містять «гострий» і «тупий» електроди з приєднанням до них джерелом високовольтного живлення. Гострим електродом може бути голка, лезо, тонкий дріт. Прискорення молекул газу відбувається таким чином [5]. ЕП генерує коронний розряд в безпосередній близькості від "гострого" електроду, званого коронуючим електродом, і електрично заряджає молекули повітря, перетворюючи їх на іони. На другому етапі іони, що утворилися, прискорюються під дією сильного електричного поля у напрямку до протилежного електроду, званого осаджуючим електродом. В процесі руху іони стикаються з нейтральними молекулами і надають їм рух в тому ж напрямі (ефект Бифельда-Брауна).

На третьому етапі іони і інші заряджені частки досягають поверхні осаджуючого електроду і віддають йому отриманий раніше електричний заряд. В результаті рухоме повітря стає знову нейтральним і, більше того, очищеним від домішок. Між анодом (коронуючим електродом) і катодом (осаджуючим електродом) прикладена висока різниця потенціалів (25 – 50 кВ), причому при позитивній короні різниця між величиною анодного і катодного потенціалів – позитивна, анод (+), катод (-). Для створення коронного розряду обов'язковою умовою є достатня різниця потенціалів між цими електродами. Процеси іонізації електронів описуються рівнянням [5]:

$$dn = \alpha n dx \quad (1)$$

де dn – кількість вільних електронів, що з'явилися в результаті пробігу n електронів на дистанції dx в електричному полі; α – коефіцієнт, що залежить від властивостей газу і його щільності, а також є функцією напруженості електричного поля.

Кількість аероіонів в повітрі, що створюються між коронуючим і осаджуючим електродами за одну секунду можна підрахувати за формулою [6]:

$$dn = \alpha n dx ; \quad n = \frac{I}{(1,6 \cdot 10^{-19})S}, \quad (2)$$

де I – сила струму корони, мкА; $1,6 \cdot 10^{-19}$ – заряд аероіонів, Кл; S – площа екрану, см². Сила струму корони пов'язана з напругою на електродах і рухливістю іонів і може бути знайдена за формулою [6]:

$$I = \frac{52 \cdot 10^{-6}}{d^2} U(U - U_0), \quad (3)$$

де U – напруга між електродами, кВ; U_0 – початкова напруга корони (напруга запалювання), кВ.

Формула Ф. Пика для критичного поля запалювання корони в повітрі має вигляд [6],

$$E_0 = 31\delta \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{r\delta}} \right), \quad (4)$$

де δ – відношення щільності повітря до нормальної, що відповідає тиску $p = 760$ мм. рт. ст., і температурі $t = 25$ °С; r – радіус внутрішнього електроду, см.

$$\delta = \frac{(1 + 0,00367 \cdot 25)b}{(1 + 0,00367 \cdot t)760} \quad (5)$$

де b – тиск, мм. рт. ст.; t – температура, °С.

Враховуючи $E = U/d$, де d – відстань між електродами, м., одержимо напругу запалювання

$$U_0 = 31n_{\text{ел}}\delta \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{\delta r}} \right) d, \quad (6)$$

де $n_{\text{ел}}$ – постійна, що враховує коефіцієнт забруднення коронуючого електроду, його шорсткість поверхні і зміщення відносно осі симетрії, $n_{\text{ел}} = 0,6 \dots 1$, для чистих співвісних електродів $n_{\text{ел}} = 1$.

З урахуванням (1) – (6), після перетворень, визначимо кількість аероіонів створених за секунду:

$$n = \frac{52U \left(U_r - n_{\text{ел}}d \left(31\delta r + 9,548\sqrt{\delta r} \right) \right)}{1,6 \cdot 10^{-13} S r d^2}. \quad (7)$$

Для визначення швидкості електричного вітру необхідно визначити напруженість поля між електродами [6]. Для одиночного провoda над площиною ($b \rightarrow \infty$) напруженість визначається:

$$E_{1\text{пр max}} = \frac{U}{r \ln(2d/r)}. \quad (8)$$

Розробка конструкції обладнання

Враховуючи теоретичні засади і аналіз існуючих систем запропоновано іонновітровий бактерицидний незаражувач-озонатор призначений для

зnezараження повітря в закритих приміщеннях в присутності людей (рис. 1). Використовується для зниження мікробної обсемененості повітря та поверхонь за рахунок циркуляції повітряних мас, що знаходяться в приміщенні через поле коронного розряду, де збагачується аероіонами і озоном, а потім опромінюється ультрафіолетовим опроміненням. При роботі пристрою враховується умова, що забір та викид повітря виконується без обмежень та співпадає з напрямками основних конвекційних потоків (наприклад, поблизу приладів опалення, вікон та дверей). Особливістю іонновітрового бактерицидно-озонатора є:

– використання різних фізичних явищ (іонізація, озонування, УФ-опромінення) з метою очищення і іонізації повітря;

– рух повітря забезпечується іонним вітром, що дає можливість використовувати зnezаражувач-озонатор без примусових систем вентиляції (вентилятори, кондиціонери, калорифери, припливно-витяжні труби), але можливе його використання і в системі припливної вентиляції;

– швидкість потоку повітря (іонного вітру) регулюється напругою, що подається на електроди в межах 5 ... 25 кВ;

– кількість вироблених іонів регулюється напругою на електродах в межах 5 ... 25 кВ і полярністю електродів (позитивна або негативна корона);

– кількість генерованого озону регулюється напругою на електродах в межах 5 ... 25 кВ і полярністю електродів (позитивна або негативна корона);

– використання осаджуючого електроду оригінальної форми (щестикутна зірка) дозволяє збільшити швидкість потоку повітря за рахунок збільшення його площі в порівнянні з електродами циліндричної форми, що дає змогу використовувати корпус невеликого діаметру;

– вбудований світловідбиваючий прошарок (плівка), який покриває внутрішню поверхню кожуха, дозволяє, за рахунок своїх фізичних властивостей, підсилити бактерицидну дію УФ випромінювання на повітряну масу в 1,8 рази;

– електроди, які використовуються для створення примусового конвекційного потоку, мають плавну систему зміни величини розряду за рахунок зміни живлення помножувача напруги, а значить, плавне регулювання величини швидкості руху повітря;

– іонізуючі електроди і бактерицидна лампа мають окремі системи живлення, що дозволяє використовувати їх разом або окремо.

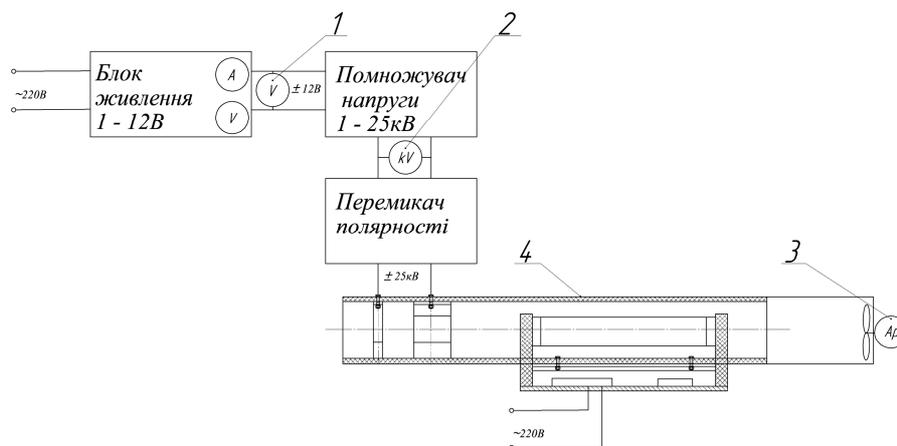


Рис. 1. Схема експериментальної установки для визначення параметрів іонновітрового бактерицидно-озонатора: 1 – вольтметр; 2 – кіловольтметр; 3 – ареометр АСО-3; 4 – зnezаражувач-озонатор

Експериментальні дослідження

З метою перевірки теоретичних розрахунків параметрів іонновітрового бактерицидно-озонатора проведено ряд експериментів по визначенню основних технологічних параметрів, а саме залежність швидкості електричного вітру від напруги на електродах $V_e = f(U)$.

Дослідження проводились наступним чином. За допомогою регульованого джерела живлення на електродах встановлювалась певна напруга в межах 5...25 кВ, з кроком 5 кВ. За допомогою ареометра визначалась швидкість руху повітря при позитивному і негативному коронному розряді. В результаті дослідів отримано значення (табл. 1), аналіз яких свідчить,

що експериментальні данні близькі до розрахункових, середня відносна похибка не перевищує 10%.

Таблиця 1

Залежність швидкості вітру від напруги на електродах іонновітрового бактерицидно-озонатора

А	В	С	Д	Е
1	5	0,16	0,15	0,12
2	10	0,29	0,26	0,24
3	15	0,40	0,42	0,36
4	20	0,52	0,55	0,48
5	25	0,61	0,65	0,60

А – № дослідів; В – напруга на електродах, кВ; швидкість руху повітря при позитивному (С) або (Д) коронному розряді, м/с; Е – розрахункова швидкість руху повітря, м/с

Залежності $V_e = f(U)$ можуть бути представлені графіком (рис. 2).

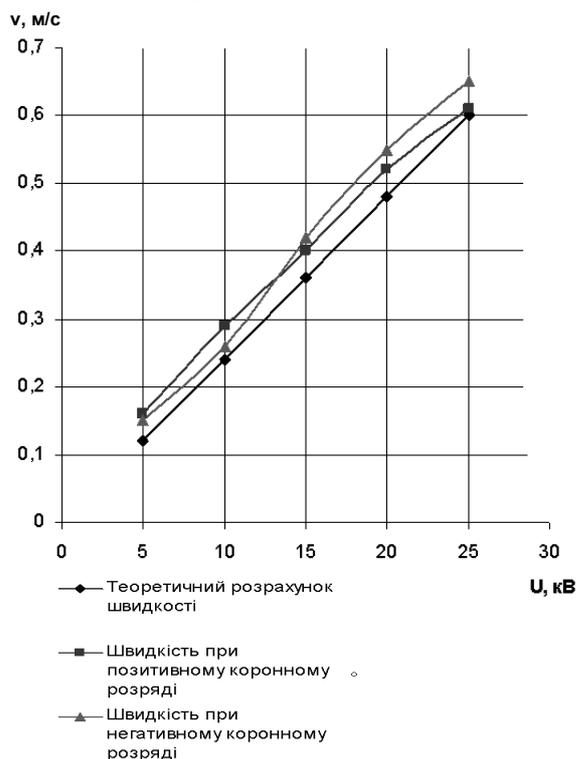


Рис. 2. Залежність швидкості вітру від напруги на електродах іонновітрового бактерицидного знезаражувача-озонатора $V_e = f(U)$.

ВИСНОВКИ

Запропоновано електрофізичну модель роботи іонновітрового ультрафіолетового озонатора-знезаражувача повітря, яка враховує процеси створення електричного вітру, негативних аероіонів, озону, знезараження за допомогою ультрафіолетового випромінювання, що може застосовуватися при проектуванні відповідного обладнання.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ИОННОВЕТРОВОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОЗОНАТОРА-ОБЕЗЗАРАЖИВАТЕЛЯ ВОЗДУХА

Л.И. Леви, А.Н. Петровский

В статье рассмотрена математическая модель работы ионноветрового ультрафиолетового озонатора - обеззараживателя воздуха. Проведен анализ существующих конструкций озонаторов. Разработана конструкция ионизатора-обеззараживателя. Предложено использование ионного ветра в качестве системы движения воздуха, что позволяет одновременно производить озон, ионизировать поток воздуха и соответственно обеззараживать его. Использовано ультрафиолетовое обеззараживание. Представленная математическая модель создания ионного ветра и отрицательных аэроионов. На основе математического моделирования проведены экспериментальные исследования по определению скорости ионного ветра, которые показали правильность теоретических утверждений.

Ключевые слова: математическая модель, ионный ветер, озон, ион, скорость, электрическое поле, ультрафиолетовое излучение.

SIMULATION OF ION WIND WORK OZONATOR UV-DISINFECTING AIR

L.I. Levy, A.N. Petrovsky

In the article the mathematical model of the ion wind ultraviolet ozonator - decontaminating air. The analysis of existing designs of ozone generators. A design ionizer - decontaminating agent. Proposed use of ionic wind as the air movement system that allows you to simultaneously produce ozone, ionized air flow and, accordingly, to disinfect it. Used ultraviolet disinfection. This mathematical model of creating ion wind and negative ions. On the basis of mathematical modeling of experimental studies to determine the ion wind speed that showed the correctness of the theoretical statements.

Keywords: mathematical model, the ion wind, ozone, ion velocity, electric field, ultraviolet radiation.

Розроблено конструкцію бактерицидного озонатора-знезаражувача повітря в якому використано ефект іонного вітру, озонування, ультрафіолетового опромінювання, що дозволяє проводити дезінфекцію приміщень в присутності людей.

Проведені експериментальні дослідження показали, що швидкість руху повітря через озонатор-знезаражувач знаходиться в межах 0,16 – 0,65 м/с при напрузі на електродах 5 – 25 кВ, що дозволяє дезінфікувати значні об'єми приміщень. Залежність між напругою електродів і швидкістю руху повітря є лінійною а відповідно її можна збільшувати використовуючи більш потужне живлення.

Список літератури

1. Stephen B. Martin Jr., Chuck Dunn, James D. Freihaut, William P. Bahnfleth, Josephine Lau, Ana Nedeljkovic-Davidovic. *Germicidal ultraviolet irradiation. Modern effective methods to combat pathogenic microflora* // ASHRAE JOURNAL. - 2008. - August.

2. Keklik, N.M. *Microbial decontamination of food by ultraviolet (UV) and pulsed UV light* / N.M. Keklik, K. Krishnamurthy, A. Demirci // *Microbial decontamination in the food industry*. - 2012. - P. 344-369.

3. Вассерман, А. Л. *Сравнительные характеристики бактерицидных облучателей с ксеноновыми импульсными лампами и с ртутными лампами НД* / А. Л. Вассерман // *Светотехника*. - 2011. - № 5. - С. 51-52.

4. Александров Г.Н. *Физические условия формирования коронирующего разряда переменного тока*. / Г.Н. Александров // *Советская физика*. - 1956. - Т. 1, № 8. - С. 17.14 - 17.26.

5. Townsend J.S., *Electricity and Magnetism* / J.S. Townsend, // 5th ed., New York: Cambridge University Press - 2003. - P. 927.

6. Райзер Ю.П. *Физика газового разряда* / Ю.П. Райзер. - М.: Наука, 1987. - 536 с.

Надійшла до редколегії 21.01.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.