

О.Л. Коренівська, аспір.  
П.П. Мартинчук, інж.

*Житомирський державний технологічний університет*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ АЕРОІОНІЗАТОРА В БЛИЖНІЙ ЗОНІ

*(Представлено д.т.н., проф. Маноїловим В.П.)*

*В статті проведено дослідження основних параметрів електростатичного поля, що створюється між продукуючим електродом аероіонізатора та вимірювальним електродом. Отримано залежності для розрахунку конфігурації поля та його основних показників.*

**Постановка проблеми.** Повітря є основою життя людини. В 20 та 21 сторіччях гостро постали екологічні проблеми з повітряним середовищем – це забруднення атмосферного повітря газами та аерозолями, хімічними викидами, випромінюваннями тощо. В наш час забруднення повітря в містах досягло критичного значення, що має негативний вплив на організм людини, знижує рівень працездатності та є основною причиною захворювань і низької тривалості життя. Стан сучасного атмосферного повітря такий, що характеризується низькою концентрацією від'ємно заряджених аероіонів кисню повітря, має підвищену концентрацію додатно заряджених аероіонів та важких аероіонів, які є шкідливими для здоров'я людини.

Відомо, що в основі багатьох захворювань лежить тромбогемарогічний синдром, який обумовлений втратою електричного заряду, тому для відновлення заряду крові та інших тканин саме електрони й потрібні [7].

Наповнити повітря аероіонами потрібного заряду можна за допомогою штучної аероіонізації повітря. Для цього на практиці використовують електрофлювіальні генератори (в народі „люстра Чижевського,“). Такі іонізатори продукують легкі іони кисню, концентрація яких значно більша за концентрацію важких іонів, за рахунок високих напруг електростатичного поля, яке створює в приміщенні іонізатор. Аероіони, що утворюються, переміщуються в просторі вздовж ліній електростатичного поля, які виникають при його роботі. На конфігурацію поля впливають всі об'єкти, що розміщені в його межах. Крім цього, на зміну концентрації аероіонів впливають конвекційні потоки в приміщенні, час роботи іонізатора та відстань від іонізатора.

Під впливом аероіонотерапії, що відбувається шляхом інгаляції аероіонів кисню повітря від'ємного заряду та їх впливом на поверхню тіла людини, змінюється функціональний стан організму, підвищується стійкість організму до несприятливого впливу, стимулюється робота імунної системи, серцево-судинної системи, нервової системи, покращується самопочуття, розумова та фізична працездатність тощо.

Але незважаючи на явні переваги застосування генераторів аероіонів, широкого використання в клінічній практиці вони не набули. Це можна пояснити тим, що досі немає апаратури для дозованого продукування необхідної кількості аероіонів. А існуючі методи виміру є недосконалими та мають значні похибки вимірювань. Також не розроблені методики лікування при конкретних хворобах.

Найпершою задачею є необхідність проводити оперативний контроль за параметрами аероіонного потоку. Основним показником, що характеризує терапевтичний ефект, є рівень концентрації легких від'ємно заряджених аероіонів кисню, поглинутих живим організмом при диханні [1, 2]. Тому спостереження за концентрацією аероіонів є важливою проблемою в аероіонотерапії та потребує негайного розв'язку.

**Метою** даної роботи є дослідження електростатичного поля генератора аероіонів та вимірювальної площини.

**Аналіз досліджень.** Для побудови такої апаратури необхідно добре знати фізику генерування аероіонів, процес формування аероіонного потоку під впливом сильного електричного поля, процес розповсюдження аероіонного потоку біля вістря та на відстані від вістря. Для цього необхідно розглянути математичні моделі, які описують вказані процеси.

Процес іонізації відбувається завдяки автоелектронній емісії – вихід електронів з поверхні твердого тіла під дією сильного електричного поля. Вихід електрона відбувається за рахунок тунельного ефекту – просочування електрона крізь потенціальний бар'єр. Практично це явище можна отримати навіть при напругах на електроді порядку 1 кВ, якщо використати електрод у вигляді голки, що робить потенціальний бар'єр майже прозорим для електронів.

Далі електрон взаємодіє з молекулами повітря. Доведено, що утворення легких від'ємно заряджених іонів відбувається за рахунок приєднання вільного електрона до атома кисню. Продуктивність іонізатора визначається щільністю потоку електронів, тобто щільністю струму автоелектронної емісії.

З фізики автоелектронної емісії можна отримати формулу для щільності струму з вістря [5, 6]:

$$j_e = 1.55 \cdot 10^9 \exp \left[ - \frac{6.84 \cdot 10^7 \varphi^{3/2}}{E} \theta(y) \right], \quad y = \left( \frac{3.62 \cdot 10^{-4} \sqrt{E}}{\varphi} \right), \quad (1)$$

де  $E$  – напруженість електричного поля;

$\varphi$  – робота виходу електрона з металу;

$\theta(y)$  – функція Норгейма, що залежить від напруженості поля біля вістря.

З формули видно, що автоелектронна емісія залежить від напруженості поля. Напруженість можна знайти розв'язком електростатичної задачі. Але визначення інтенсивності поля для реальної форми вістря є складною задачею. Звичайно користуються апроксимаціями, які замінюють реальну форму вістря на якусь правильну форму, яка б дозволила знайти розподіл поля з теорії потенціалу.

**Основна частина.** Люстра являє собою набір голок-електродів, рознесених на певну відстань, кожна з яких є продукующим електродом. Оскільки вони розташовані на досить значних відстанях відповідно розміру електрона, то кожен таку голку можна вважати незалежним джерелом електростатичного поля. Конфігурація та напруженість електростатичного поля, що створюється електродом, залежить від форми голки, ступеня оброблення поверхні та прикладеної напруги. Тому задачу можна сформулювати так: необхідно знайти поле, створене голкою та заземленою провідною поверхнею.

Такий випадок відповідає полю між дуже вузьким гіперболоїдом обертання та другим гіперболоїдом, що виродився в площину. Гіперболоїди відносять до поверхонь другого порядку, а для розв'язку електростатичної задачі для поверхонь другого порядку використовують метод Ламе. Згідно з цим методом потенціал та напруженість створеного поля є функціями параметра  $\lambda$ . Рівняння еквіпотенціальних поверхонь просторового електростатичного поля  $F(x, y, z, \lambda) = 0$  містить тільки один параметр  $\lambda$ . При цьому на кожній еквіпотенціальній поверхні та на провідниках  $\lambda$  є сталою величиною. Різним еквіпотенціальним поверхням відповідають різні значення цього параметра [3].

Згідно з цим методом рівняння гіперболоїда обертання можна отримати з загального рівняння софокусних поверхонь другого порядку:

$$\frac{x^2}{\lambda^2} - \frac{y^2}{b^2 - \lambda^2} - \frac{z^2}{c^2 - \lambda^2} = 1. \quad (2)$$

Поверхні голки буде відповідати параметр  $\lambda$  близький  $b$ . В нашому випадку необхідно розглядати гіперболоїд обертання відносно осі  $x$ , для якого справедливо  $b = c$ , а саме рівняння набуде вигляду:

$$\frac{x^2}{\lambda^2} - \frac{y^2 + z^2}{b^2 - \lambda^2} = 1. \quad (3)$$

Площині  $x = 0$  відповідає значення параметра  $\lambda = 0$ .

У загальному випадку розв'язуючи задачу методом Ламе для двополосного гіперболоїда, отримаємо:

$$U = AF(\arcsin \frac{\lambda}{b}, k) + B, \quad A, B - \text{сталі}, \quad k = \frac{b}{c}. \quad (4)$$

Напруженість поля можна представити як

$$E = - \frac{dU}{d\lambda} \frac{1}{\lambda}.$$

На фіксованій еквіпотенціальній поверхні величина, що є множителем при  $d$ , є сталою величиною, тому  $E$  пропорційна  $d$ , тобто відстані від початку координат до дотичної площини до цієї еквіпотенціальної поверхні, яка дотична у точці, в якій визначається напруженість.

$$d = \frac{1}{\sqrt{\frac{x^2}{\lambda^4} - \frac{y^2 + z^2}{(b^2 - \lambda^2)^2}}}. \quad (5)$$

Провівши диференціювання, отримаємо вираз для напруженості поля:

$$E = \frac{Acd}{\lambda \sqrt{(b^2 - \lambda^2)(c^2 - \lambda^2)}}. \quad (6)$$

Для частинного випадку обертання навколо осі  $x$ , як вже було вказано вище, справедливо  $b = c$ ,  $k = 1$ , тому рівняння приймуть наступну форму:

$$F(\arcsin \frac{\lambda}{b}, 1) = \frac{1}{2} \ln \frac{b + \lambda}{b - \lambda}, \quad (7)$$

$$U = \frac{A}{2} \ln \frac{b + \lambda}{b - \lambda} + B. \quad (8)$$

Оскільки площа заземлена, то  $U = 0$ , звідси знайдемо  $B = 0$ .

Якщо голка заряджена до потенціалу  $U_0 = \frac{A}{2} \ln \frac{b + \lambda_1}{b - \lambda_1}$  (для поверхні голки  $\lambda = \lambda_1$ ), то

$$U = U_0 \frac{\ln \frac{b + \lambda}{b - \lambda}}{\ln \frac{b + \lambda_1}{b - \lambda_1}}, \quad (9)$$

Напруженість поля

$$E = \frac{2U_0 db}{\lambda(b^2 - \lambda^2) \ln \frac{b + \lambda_1}{b - \lambda_1}}. \quad (10)$$

де  $\lambda_1$  – відстань між електродами.

Максимальна напруженість буде на кінці голки  $d = \lambda_1$

$$E_{\max} = \frac{2U_0 b}{(b^2 - \lambda_1^2) \ln \frac{b + \lambda_1}{b - \lambda_1}}. \quad (11)$$

Розподіл аероіонів в просторі при наявності електричного поля можна описати, використавши рівняння неперервності, яке матиме вигляд [2, 4]:

$$\frac{\partial n(\vec{r}, t)}{\partial t} = g(\vec{r}, t) - \text{div} P, \quad (12)$$

де  $n(\vec{r}, t)$  – концентрація іонів в точці з радіус-вектором  $\vec{r}$  в момент часу  $t$ ;  $g(\vec{r}, t)$  – кількість іонів, що генерується в одиниці об'єму (коефіцієнт іоноутворення);  $P$  – щільність потоку іонів.

Повний потік складається з дрейфових, дифузійних та конфекційних потоків. Його щільність можна визначити наступною залежністю:

$$P = j - j_D + j_k, \quad (13)$$

де  $j = neE\mu$  – щільність струму провідності;  $j_D = D_L \nabla n$  – щільність струму дифузії;  $j_k = nv_k$  – щільність струму конвекції;  $\mu$  – рухливість заряджених частинок;  $n$  – концентрація аероіонів одного знака;  $D_L$  – коефіцієнт повздовжньої дифузії;  $v_k$  – швидкість конфекційних потоків.

Для сильних електричних полів справедливо, що процеси дифузії та конвекції є настільки малими (особливо в ближній зоні продукуючого електрода), в порівнянні з дрейфовими процесами, що ними можна знехтувати. Число від'ємно заряджених частинок більше за додатно заряджених, тому рівняння неперервності можна спростити:

$$\frac{1}{e} \text{div} j = g(\vec{r}, t). \quad (14)$$

При виводі не враховувалися процеси рекомбінації та вплив просторового заряду, що необхідно врахувати при дослідженні поля в дальній зоні.

Отримали, що щільність струму обумовлена лише дрейфовою складовою та в ближній зоні вона дорівнює щільності струму автоелектронної емісії. Тому можна записати вирази для коефіцієнта іоноутворення та концентрації аероіонів:

$$g(\vec{r}, t) = \frac{1}{e} \text{div} \left[ 1.55 \cdot 10^9 \exp \left[ - \frac{6.84 \cdot 10^7 \varphi^{3/2}}{2U_0 b} \theta(y) \right] \right]. \quad (15)$$

$$n = \frac{j_e}{eE\mu} = \frac{j_e}{e\mu \frac{2U_0 b}{(b^2 - \lambda_1^2) \ln \frac{b + \lambda_1}{b - \lambda_1}}} \quad (16)$$

На рис. 1 представлено залежність напруженості поля між електродами при різних значеннях напруги.

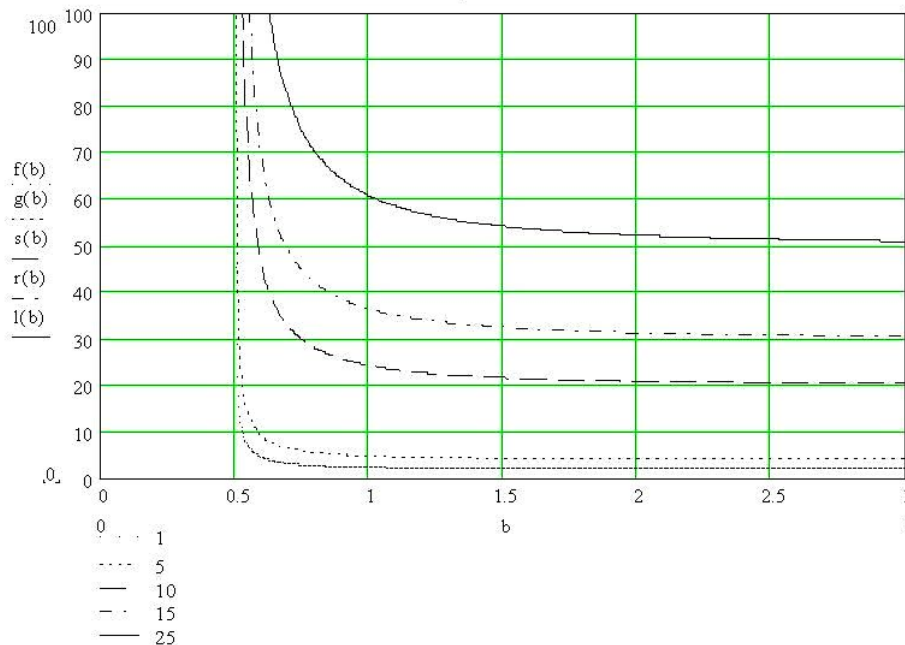


Рис. 1. Напруженість поля між електродами голка – провідна площина для фіксованої відстані між електродами та напруг 1 кВ, 5 кВ, 10 кВ, 15 кВ, 20 кВ

Нижче буде наведено експериментально отримані результати напруженості поля, зняті за допомогою електрометричної апаратури для різних відстаней між електродами. Напруга на електроді-голці 25 кВ. Параметри голки: довжина випромінюючої частини – 5 мм, діаметр – 1 мм.

Вимірюємо заряд, розповсюджений на площині. При заданій площині електрода-приймача заряд пов'язаний з поверхневою щільністю заряду співвідношенням  $\sigma = \frac{Q}{S}$ , напруженість поля дорівнює

$E = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{Q}{S}$ , де  $\varepsilon_0$  – електрична стала  $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.;  $\varepsilon$  – діелектрична проникність середовища, для повітря дорівнює 1.

В табл. наведені експериментальні дані для різних відстаней від електродів для заряду та напруженості поля.

Таблиця

Відстань між електродами, м	Площа вимірювального електрода S = 400 см <sup>2</sup>		Площа вимірювального електрода S = 100 см <sup>2</sup>		Площа вимірювального електрода S = 25 см <sup>2</sup>	
	Заряд площини Q, нКл	Напруженість поля E, кВ/м	Заряд площини Q, нКл	Напруженість поля E, кВ/м	Заряд площини Q, нКл	Напруженість поля E, кВ/м
1	8	1,770	4	3,540	3	10,620
0,75	10	2,212	6	5,310	4	14,160
0,5	20	4,425	12	10,620	10	35,400
0,25	250	55,313	100	88,500	80	283,200

В результаті експерименту отримали заряд, до якого заряджається площина під дією аероіонів, а з них можна отримати концентрацію аероіонів.

На рис. 2 представлено розподіл концентрації аероіонів в ближній зоні продукуючого електрода.

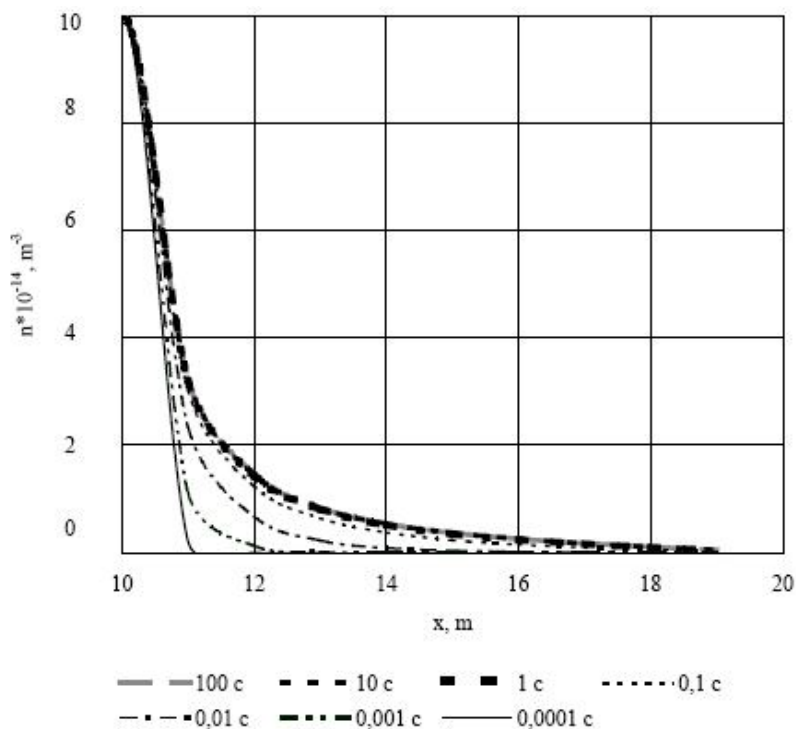


Рис. 2. Розподіл концентрації іонів біля іонізатора для різних часів існування

**Висновок.** В роботі було обрано апроксимуючу поверхню для представлення електрода-голки аероіонізатора та досліджено електростатичне поле між електродом-голкою та провідною поверхнею. За апроксимуючу поверхню обрано гіперболоїд обертання. Отримано залежності напруги та напруженості поля від відстані між електродами та напругами, що подані на електрод-голку. Рис. 1 ілюструє зміну напруженості поля від напруги на електроді-голці при фіксованій відстані між електродами. Зі збільшенням напруги значення напруженості зростає. Запропоновано визначення концентрації аероіонів за застосуванням параметрів електростатичного поля. Наведені експериментальні виміри.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Чижевський А.Л.* Аероіоніфікація в народном хозяйстве. – М.: Госпланиздат, 1960. – 302 с.
2. *Карпунин В.А.* Проблемы совершенствования аппаратуры для аероіонотерапии // Вестник МГТУ им. Баумана. Сер. Приборостроение / Спец. выпуск «Биомедицинская техника и технологии». – 1998. – С. 8–19.
3. *Миролюбов Н.Н., Костенко М.В., Левинштейн М.Л., Тиходеєв Н.Н.* Методы расчета электростатических полей. – М.: Высшая школа, 1963. – 414 с.
4. Моделирование распределения концентрации ионов вблизи ионизатора / В.Е. Бахрумин, М.А. Игнахина и др. // Складні системи і процеси. – 2002. – № 1. – С. 30–35.
5. Оптимизация технических параметров профилактических ионизаторов воздуха / С.В. Медников, Е.А. Поляков // Биомедицинская техника и технологии. – 2005. – № 3. – С. 57–60.
6. *Елинсон М.И., Васильев Г.Ф.* Автоэлектронная эмиссия. – Москва: Гос. издат. физ-мат. литер., 1958. – 272 с.
7. *Мещеряков А.Ю., Федотов Ю.А.* Проблемы оценивания аероіонного состояния среды обитания // Приборы и системы управления. – 1998. – № 11. – С. 75–79.

КОРЕНІВСЬКА Оксана Леонідівна – аспірант кафедри радіотехніки та телекомунікації Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– медична апаратура.

E-mail: [niki80@rambler.ru](mailto:niki80@rambler.ru)

МАРТИНЧУК Петро Петрович – інженер кафедри радіотехніки та телекомунікації Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– медична апаратура, вимірювання потоку аероіонів.

Подано 24. 04. 2009

**Коренівська О.Л., Мартинчук П.П.** дослідження електростатичного поля аероіонізатора в ближній зоні  
**Кореновская О.Л., Мартыничук П.П.** Исследование электростатического поля аэроионизатора в ближней зоне

**Korenovskaya O.L., Martinchuk P.P.** Research of the electrostatic field of aeroionizator in a fellow creature area.

УДК 623.4.011

**Исследование электростатического поля аэроионизатора в ближней зоне / О.Л. Кореновская, П.П. Мартыничук**

В статье проведено исследование основных параметров электростатического поля, которое образуется между генерирующим электродом аэроионизатора и измерительным электродом. Получены зависимости для расчета конфигурации поля и его основных параметров.

УДК 623.4.011

**Research of the electrostatic field of aeroionizator in a fellow creature area / O.L. Korenovskaya, P.P. Martinchuk**

In the article the research of basic parameters of the electrostatic field which is formed between the generating electrode of aeroionizator and measuring electrode is conducted. The dependencies for the calculation of the field configuration and its basic parameters are got.

*Кореновская О.Л., Мартыничук П.П.*

*Исследование электростатического поля аэроионизатора в ближней зоне*