

ШИФР  
«Іон-Біполяр»

**ПРИЛАД БІПОЛЯРНОЇ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ**

## АНОТАЦІЯ

Наукова робота має 28 сторінок, 9 рисунків, 3 таблиці, 35 джерел.

**Тема наукової роботи:** «Прилад біполярної іонізації повітря».

**Актуальність роботи** полягає в тому, що забруднене, збіднене на аероіони повітря має негативний вплив на здоров'я людини, особливо в закритих приміщеннях, якість повітря можна значно покращити за рахунок використання біполярного іонізатора. Тому існує потреба в створенні приладу, що забезпечить оптимальний склад повітря.

**Мета роботи** полягає в розробці приладу біполярної іонізації повітря.

**Завданням роботи** є дослідження характеру розповсюдження іонів у повітрі й розробка функціональної та принципової схем приладу біполярної іонізації повітря.

**Об'єктом дослідження** є процеси, що відбуваються при штучній іонізації повітря.

**Предметом дослідження** є принцип створення приладу біполярної іонізації повітря.

**Методами дослідження** є аналіз інформації та експеримент.

**В процесі роботи** проведені аналітичний огляд, розроблені функціональна та принципова схеми іонізатора, виготовлено дослідний зразок та проведені дослідження ефективності його роботи.

**В результаті роботи** запропоновано принцип роботи приладу, який забезпечив одночасну присутність у повітрі позитивних і негативних іонів.

ІОНІЗАТОР, АЕРОІОН, РЕКОМБІНАЦІЯ, ГЕНЕРАТОР

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ .....	6
1.1 Біологічні ефекти негативних іонів на здоров'я людини.....	6
1.2 Аероіони та їх утворення в природному середовищі.....	7
1.3 Теоретичний аналіз процесів при штучній іонізації повітря.....	11
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСІВ ПРИ ШТУЧНІЙ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ ПРИ ВИМКНЕННІ ПРИЛАДУ.....	13
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПУ СТВОРЕННЯ БІПОЛЯРНОГО ІОНІЗАТОРА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ.....	18
3.1 Розробка функціональної і принципової схем макета приладу біполярної іонізації повітря.....	18
3.2 Дослідження ефективності запропонованого принципу іонізації...	21
ВИСНОВКИ.....	24
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	25

## ВСТУП

Ми живемо в середовищі, в якому безліч забруднюючих факторів, які впливають на стан здоров'я людей. Забруднення повітря на даний час вважається найбільшою екологічною загрозою у світі. Відсутність смогу не означає, що навколо нас чисте повітря. Мікроскопічні частинки - забруднювачі повітря часто не фіксуються захисними механізмами нашого організму, проникають глибоко в дихальну та кровоносну систему й пошкоджують легені, серце та мозок. У всьому світі і міста, і села зазнають токсичної дії забруднювачів, рівні яких перевищують середньорічні значення, що рекомендуються в нормах ВООЗ щодо якості повітря.

Окрім прямого впливу на організм людини від неякісного повітря є також і такий, котрий непомітно шкодить нам кожен день – це вплив від деіонізованого, не збагаченого достатньою кількістю іонів повітря. Необхідність належного аероїонного складу повітря довів О.Л. Чижевський ще в 20-і роки минулого століття [1]. В його роботі а також інших, які з'явилися пізніше, вказувалось на необхідність додержання в повітрі певної кількості негативних аероіонів, а саме в межах від 600 до 50 000 іонів/см<sup>3</sup>.

В природньому середовищі процес іонізації проходить природнім шляхом – за участю сонця. Іони, що містяться в повітрі, утворюються з нейтральних молекул під впливом ультрафіолетового випромінювання. Наприклад, у лісі та поблизу водоспаду концентрація негативних іонів сягає близько 10 тисяч іон/см<sup>3</sup>, в горах та морському узбережжі - 5000 іон/см<sup>3</sup>. Але в інших місцях, наприклад, у міському парку - 400-600 іон/см<sup>3</sup>, а в закритих приміщеннях - лише 0-25 іон/см<sup>3</sup> [2]. З цих даних можна побачити, що міське середовище та закриті приміщення зовсім не відповідають вимогам за кількістю аероіонів, людина отримує недостатню кількість іонів щодня, меншу ніж необхідно. Тому способом для створення оптимального аероіонного складу повітряного середовища в приміщеннях є штучна іонізація повітря.

За результатами аналізу останніх досліджень [3] показано, що умовою створення для людини безпечного середовища життєдіяльності є необхідність у повітрі як негативних, так і позитивних іонів. Але на даний час спостерігається відсутність інформації щодо принципів розробки і функціонування приладів біполярної іонізації повітря.

Отже, виходячи з актуальності проблеми, метою даної роботи є розробка приладу біполярної іонізації повітря, а завданням - дослідження характеру розповсюдження іонів у повітрі й розробка функціональної та принципової схем приладу біполярної іонізації повітря. Об'єктом дослідження є процеси, що відбуваються при штучній іонізації повітря, а предметом - принцип створення приладу біполярної іонізації повітря. При проведенні досліджень використовувалися методи аналізу інформації та експерименту.

Науковою цінністю роботи є отримані результати дослідження характеру розподілення іонів в просторі.

Практична цінність роботи полягає в запропонованому принципі розробки і функціонування приладу біполярної іонізації повітря.

Результати роботи представлені на конференції «Електроніка та телекомунікації», яка відбулася 25-26 листопада 2021 року, у вигляді доповіді та тез конференції, а також використані підприємством НВП «Мікротерм» при розробці промислового зразка іонізатора повітря з наступним впровадженням у виробництво.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

#### 1.1 Біологічні ефекти негативних іонів на здоров'я людини

Ми живемо в світі, де кожен день піддаємося агресивному впливу різних забруднюючих частинок з оточуючого повітря. Це може бути шкідливий пил, газ, хімічні розпилення. Більше того, повітря в квартирах, офісних і промислово-виробничих приміщеннях складається переважно з позитивно заряджених іонів, що завдає шкоди здоров'ю організму.

Негативні іони потрібні для багатьох функцій організму. Коли їх багато, ми відчуваємося добре. Деякі негативні іони в приміщеннях витрачаються на очищення повітря, інші приєднуються до позитивно заряджених об'єктів і залишаються приєднаними до них через свій електричний заряд, тому в повітрі, яким ми дихаємо, залишається все менше і менше іонів. Біля водоспадів 50 000 негативних іонів на 1 см<sup>3</sup>, біля озера - 4 000 негативних іонів на 1 см<sup>3</sup>, тоді як повітря у приміщенні часто містить менше 200 негативних іонів на 1 см<sup>3</sup> [3].

В таблиці 1 вказано оптимальну концентрацію іонів у повітрі [3]

Таблиця 1 – Нормативні величини іонізації повітряного середовища виробничих та громадських приміщень.

Рівень	Кількість іонів на 1 см <sup>3</sup> повітря		П
	$n^+$	$n^-$	
Мінімальний необхідний	400	600	-0,2
Оптимальний	1500-3000	3000-5000	від -0,5 до 0
Максимально допустимий	50000	50000	від -0,05 до +0,05

У таблиці є оптимальні значення показника полярності ( $\Pi$ ), який визначається як співвідношення позитивних іонів до негативних:

$$\Pi = \frac{n^+ + n^-}{n^- - n^+}$$

Огляд літератури за темою іонізації дозволив виявити позитивний вплив негативних іонів на здоров'я людини. Присутність негативних аероіонів сприяє поліпшенню психологічного стану, підвищенню продуктивності та відчуттю загального благополуччя. В статтях [4-7] були знайдені докази того, що вплив негативних аероіонів має широкий ефект на здоров'я людини, а саме:

- допомагає регулювати режим сну та покращує настрій;
- зменшує стрес;
- підвищує функцію імунної системи;
- пришвидшує метаболізм вуглеводів та жирів;
- вбиває або пригнічує ріст шкідливих бактерій, вірусів та інших мікроорганізмів [8].

## **1.2 Аероіони та їх утворення в природному середовищі.**

Іони повітря - це електрично заряджені молекули або атоми в атмосфері [9]. Іон в повітрі утворюється, коли молекула чи атом отримує досить високу енергію для від'єднання електрона [10]. Негативні аероіони це ті, які отримали електрон, в той час як позитивні аероіони це ті, що втратили електрон.

До природних та штучних джерел енергії відносяться: космічні промені в атмосфері; сонячне світло (ультрафіолет); каскадний ефект (ефект Ленарда); природний та штучний коронний розряд; блискавка та рослини.

Радіоактивні елементи, такі як уран, радій, актиній та торій, широко поширені на нашій планеті. Вони розпадаються в атмосфері і випускають альфа, бета та гамма промені, які іонізують повітря. Таким чином, іонізація

радіоактивними та космічними променями широко поширена в атмосфері Землі. Іонізація космічними променями становить близько 20% загальної іонізації поверхні землі [11]. Вони також є основними джерелами енергії, що генерують негативні аероіони над океанами [12]. Концентрація негативних аероіонів, створених цими променями, може досягати від 500 іонів на  $\text{см}^3$  на поверхні землі [13] до більш ніж 1000 іонів на  $\text{см}^3$  на відстані 15 км від поверхні землі [14].

Фотоелектричний ефект - це випромінювання електронів, коли на металеву поверхню потрапляє світло певної довжини хвилі. Негативні аероіони генеруються шляхом приєднання атомами та молекулами повітря електронів, що випромінюються. Фотоелектричний ефект робить малий внесок у генерацію негативних аероіонів, оскільки лише деякі конкретні довжини хвиль світла активують здатність металів випромінювати електрони при освітленні.

З іншого боку, негативні аероіони можуть генеруватися світлом певної довжини хвилі у вигляді прямої іонізації молекул повітря. Наприклад, ультрафіолет (УФ) можна використовувати для прямої іонізації молекул повітря для генерації негативних аероіонів [12, 15]. Проведений експеримент показав [4], що ультрафіолетове освітлення можна використовувати для створення негативних аероіонів. Однак за умов УФ-світла було отримано низькі концентрації негативних аероіонів.

Значна кількість негативних аероіонів знаходиться під водоспадами або на морському узбережжі. В основі цього полягає явище, що зветься ефектом Ленарда. Дослідження, проведені Ленардом [16] показали, що негативні аероіони утворюються з молекул навколишнього повітря заряджаючись негативно, коли краплі води стикаються між собою або з вологим твердим тілом, утворюючи дрібні бризки. Дослідження також показали, що кілька факторів можуть впливати на ступінь поділу зарядів у процесах розпилення та, отже, можуть впливати на утворення та концентрацію негативних аероіонів. Негативні аероіони, що генеруються «ефектом Ленарда», можуть покращувати аеробний метаболізм [17].



Повідомлялося, що рослини мають здатність генерувати негативні аероіони в нормальних умовах зростання тому вони розглядаються як природні ресурси для генерації негативних аероіонів [18, 19]. Різні рослини виділяли різну кількість негативних аероіонів у природних умовах зростання. Однак у нормальних умовах зростання рослини виділяли дуже низькі концентрації негативних аероіонів ( $<200$  іонів/см<sup>3</sup>). Бахман і Хадеменос в 1971 році повідомили про генерацію негативних аероіонів шляхом застосування до рослин електричного поля високої напруги [20]. Пізніше у 2004 році Тихонов В.П. із співавторами [21] показали, що рослини можуть генерувати величезну кількість негативних аероіонів при стимуляції імпульсним електричним полем. З тих пір було проведено кілька інших досліджень для вивчення впливу стимуляції на утворення рослинами негативних аероіонів. Як правило, у природних умовах зростання рослини виділяють менше 200 іонів/см<sup>3</sup>. Однак після стимуляції було виявлено більше  $3,5 \times 10^6$  іонів/см<sup>3</sup>.

Атмосфера землі піддається дії природного електричного поля, його інтенсивність постійно змінюється як під локальним, так і глобальним впливом [9]. До місцевих впливів відносяться географічне положення та погодні умови, такі як грози, дощ, туман тощо; глобальні факти відносяться до класичних добових варіацій електричного поля [11]. Коли гілки дерев мають високу різницю потенціалів у порівнянні з навколишнім середовищем у своїх електричних полях, виникає коронний розряд (також званий точковим розрядом) і можуть вивільнитися негативні аероіони [12, 23]. Зазвичай коронний розряд виникає в атмосферних умовах за наявності сильних та середніх електричних полів [12]. Наприклад, у гірській місцевості сильні електричні поля та низький атмосферний тиск сприяють виникненню коронного розряду [24]. Грози та блискавки створюють умови дуже сильного електричного поля і згодом виникає коронний розряд. Отже, після гроз та блискавок викиди негативних аероіонів будуть величезними. Крім гроз та блискавок, туман також може сприяти утворенню негативних аероіонів. У лісах спостерігалися зміни електричного

поля під час утворення та розсіювання туману, що може викликати коронний розряд та генерацію негативних аероіонів [22].

Штучний коронний розряд – ефективний спосіб генерації аероіонів. Коли на провідник/електрод подається висока напруга і досить сильне електричне поле, виникає коронний розряд [25, 26]. Якщо заряджений провідник/електрод має голковий тип з гострим кінцем, електричне поле навколо наконечника буде значно сильнішим, ніж навколо інших частин, повітря біля електрода може стати іонізованим і виникнуть аероіони [27]. Інтенсивність коронного розряду залежить від форми та розміру провідників, а також від прикладеної напруги. Провідник з гострим кінцем утворює сильніший коронний розряд, ніж згладжений, а провідники великого діаметра створюють коронний розряд менший, ніж провідники малого діаметра; чим вище прикладена напруга, тим більше аероіонів генерується [27, 28]. Чим ближча відстань до точки коронного розряду, тим вища концентрація аероіонів, оскільки безперервна генерація аероіонів коронним розрядом пов'язана з процесом ланцюгової реакції, що називається електронною лавиною [29]. Застосування штучного електричного поля та коронного розряду, що генерує негативні іони, на рослинах проводилося ще у 1960-х роках [30, 31]. Бахман і Хадеменос (1971) показали, що під високою напругою штучно прикладені електричні поля біля загострених кінчиків листя ячменю посилювалися [20], і в результаті виникав коронний розряд і генерувалися аероіони та озон. Дослідження в основному були зосереджені на біологічних ефектах, таких як реакція росту, випаровування вологи та пошкодження рослин, а також на вплив озону, що генерується, і негативних аероіонів на зростання рослин [20, 24, 31-34].

Отже, як наведено вище, основна увага в літературі приділяється негативним іонам. Але останнім часом з'явилися вимоги до наявності у повітрі і позитивних іонів [3]. Причому мінімальна кількість позитивних іонів складає 400 іон/см<sup>3</sup>. Тобто, оптимальним є додержання у повітрі іонів обох полярностей.

Тому в подальшому розглянуто можливість принципу створення біполярного іонізатора, який виробляє як позитивні, так негативні іони.

### 1.3 Теоретичний аналіз процесів при штучній іонізації повітря

У науковій роботі [35] описано іонізатор повітря на базі п'єзотрансформатора, який генерує негативні аероіони. На рисунку 1 представлено результати дослідження характеру розподілу концентрації негативних іонів від відстані до іонізатора в режимі їх постійної генерації.

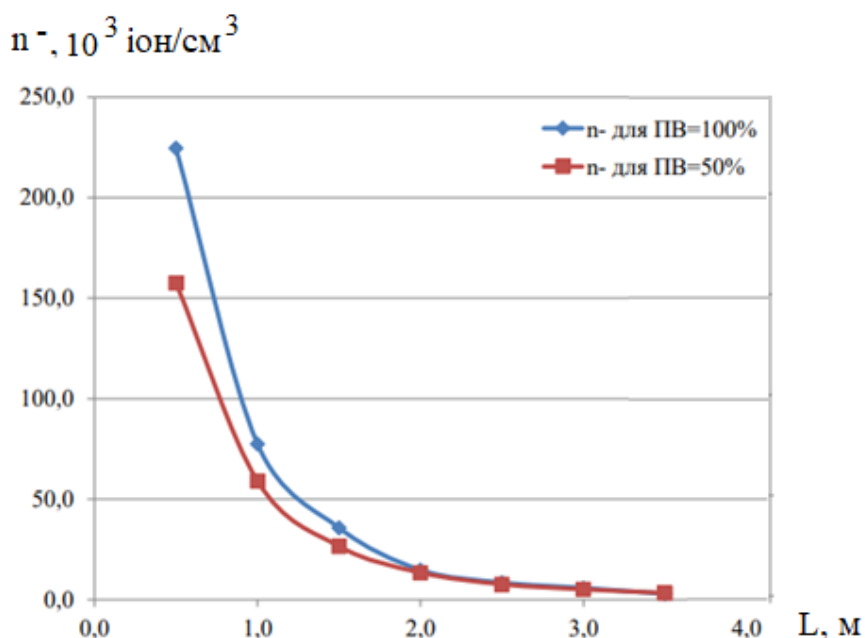


Рисунок 1 - Залежність концентрації негативних іонів від розташування іонізатора по відношенню до вимірника для ПВ = 100% і ПВ = 50%

При віддаленні від іонізатора можна спостерігати зменшення концентрації іонів, що пояснюється процесами іонізації, рекомбінації та дифузії.

Іонізацією є фізичний процес утворення електрично заряджених частинок (іонів) шляхом відділення від нейтрального атому чи молекули електрону, внаслідок чого замість нейтральної молекули утворюються два іона з різним зарядом – негативний і позитивний.

Рекомбінацією зветься процес, зворотній до іонізації. Рекомбінація призводить до зменшення заряду іона або до перетворення іона в нейтральний атом або молекулу. Швидкість рекомбінації може бути визначена за законом діючих мас:

$$\frac{dn}{dt} = -\alpha \cdot n_e \cdot n_i$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт рекомбінації;

$n_e, n_i$  – концентрація електронів та іонів.

Дифузія – процес переміщення негативних іонів з області високої концентрації (області поблизу іонізатора) до області меншої концентрації (область, віддалена від іонізатора), тобто переміщення іонів в просторі.

$$nv_d = -D \frac{dn}{dx}$$

де  $n$  – концентрація іонів;

$v_d$  – швидкість дифузійного руху іонів;

$D$  – коефіцієнт пропорційності, званий коефіцієнтом дифузії.

## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСІВ ПРИ ШТУЧНІЙ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ ПРИ ВИМКНЕННІ ПРИЛАДУ

В ході дослідження динаміки процесів при штучній іонізації повітря вивчався характер розповсюдження негативних і позитивних іонів в часі і просторі після вимкнення генератора.

Дослідження було проведено в приміщенні з розмірами 5×6 з зачиненими вікнами та дверима, щоб мінімізувати вплив зовнішніх факторів на перебіг експерименту. В якості приладу для штучної іонізації повітря використовувався іонізатор, який представлений у науковій роботі [35].

Схему розміщення приладів в процесі дослідження, зовнішній вид приладів, які використовувались, а саме іонізатор та лічильник аероіонів МАС-01 приведені на рисунку 2.

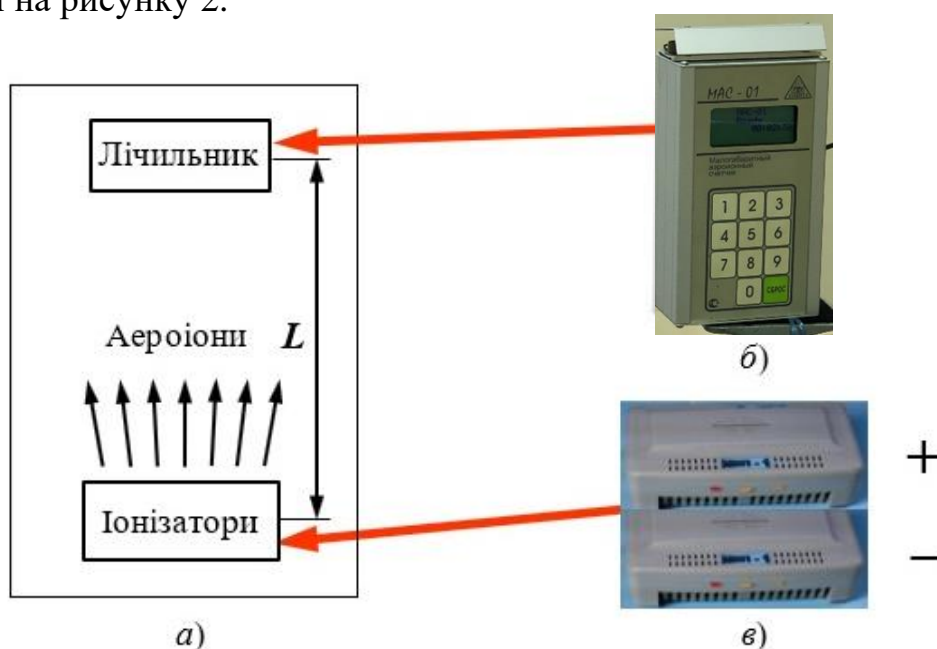


Рис. 2 – Схема розміщення приладів (а) і прилади, які використовувалися: лічильник аероіонів МАС-01 (б) та іонізатор (в)

Для дослідження динаміки розповсюдження позитивних і негативних іонів по чергово використовувалися іонізатори, які позначені на рисунку як «+» - генератор позитивних іонів і «-» - генератор негативних іонів.

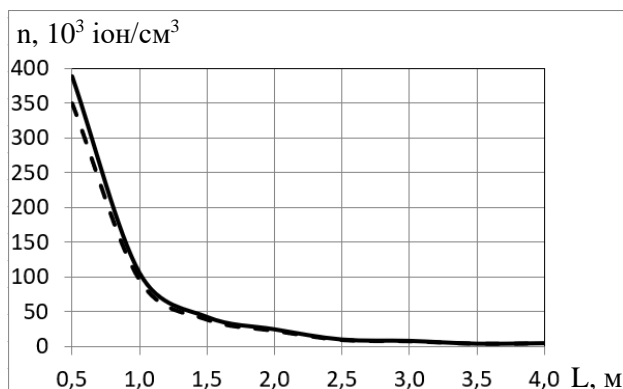
Іонізатори встановлювалися на край стола і навколо них був організований простір для вільного розповсюдження аероіонів. Навпроти іонізаторів, на відстані 0,5 м, було встановлено лічильник МАС-01 на тринозі. Після цього кожен іонізатор вмикався на час необхідний для заповнення простору іонами. Після вимкнення іонізатора за допомогою відеокамери проводилися заміри концентрації негативних іонів в моменти часу 2с, 4с, 6с, 8с, 10с, 12с, 14с на відстанях 1,0 м; 1,5 м; 2,0 м; 2,5 м; 3,0 м; 3,5 м; 4,0 м. Дані отримані у ході експерименту зведені до таблиці 2.

Таблиця 2. Залежність концентрації негативних аероіонів  $n^-$  ( $10^3$  іон/см<sup>3</sup>) і позитивних аероіонів  $n^+$  ( $10^3$  іон/см<sup>3</sup>) від відстані L

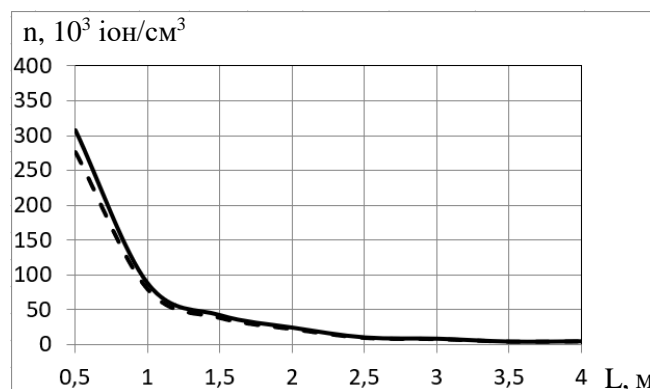
Час, с	Полярність	Відстань L							
		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
0 с	-	381	101,4	46,1	21,7	9,2	7,55	3,41	4,76
	+	341	89,1	36,5	22,4	9,04	6,95	3,16	4,09
2 с	-	301	82,8	39,2	22,7	9,85	7,98	4,02	4,68
	+	259	76,3	32,5	22,1	8,92	7,29	3,68	4,13
4 с	-	72,4	56,8	33,6	21,5	8,64	7,97	4,01	4,72
	+	65,9	47,5	30,6	17,7	6,41	6,07	4,98	4,1
6 с	-	23,9	38,7	26,5	21,4	8,85	7,54	4,17	4,59
	+	19,7	34,8	25,1	15,9	5,92	6,04	4,25	4,16
8 с	-	8,89	29,2	23,7	16,8	9,26	7,29	4,2	4,04
	+	8,25	25,7	22,9	15,6	8,42	6,33	3,92	3,73
10 с	-	6,85	20,9	18,8	15,9	8,91	6,21	4,72	4,37
	+	6,11	19,2	18,8	13,9	7,74	6,28	4,16	3,98
12 с	-	4,71	14,1	16,2	12,9	8,1	5,94	5,1	4,34
	+	4,05	11,7	14,9	12,2	7,51	5,58	4,62	3,79
14 с	-	2,31	8,62	13,8	13,6	8,13	5,89	6,01	4
	+	2,15	7,83	12,4	13,2	7,31	6,22	5,47	3,51

За результатами таблиці 2 побудовано графічні залежності, які можна побачити на рисунках 3, 4 і 5. На графіках суцільною лінією наведено концентрацію негативних іонів, а штриховою – позитивних.

На рисунку 3 наведено концентрацію іонів від відстані до їх джерела на момент та після 2 секунд з моменту вимкнення приладу. На графіку простежується процес релаксації. За рахунок рекомбінації кількість іонів на всій досліджуваній відстані зменшується майже пропорційно.



а)



б)

Рисунок 3 - Залежність концентрації іонів обох знаків від розташування іонізатора на момент вимкнення приладу (а) та 2 с (б) з моменту його вимкнення

На рисунку 4 наведені дані для 4 с та 6 с з моменту вимкнення приладу. На поданому графіку простежується значна зміна виду залежностей. На рисунку 4(а) процес залишається схожим на релаксацію, але на рисунку 4(б) максимальна концентрація зміщується з початку графіка до точки 1 м, після чого концентрація спадає. Ці зміни відбуваються з концентрацією для іонів обох знаків.

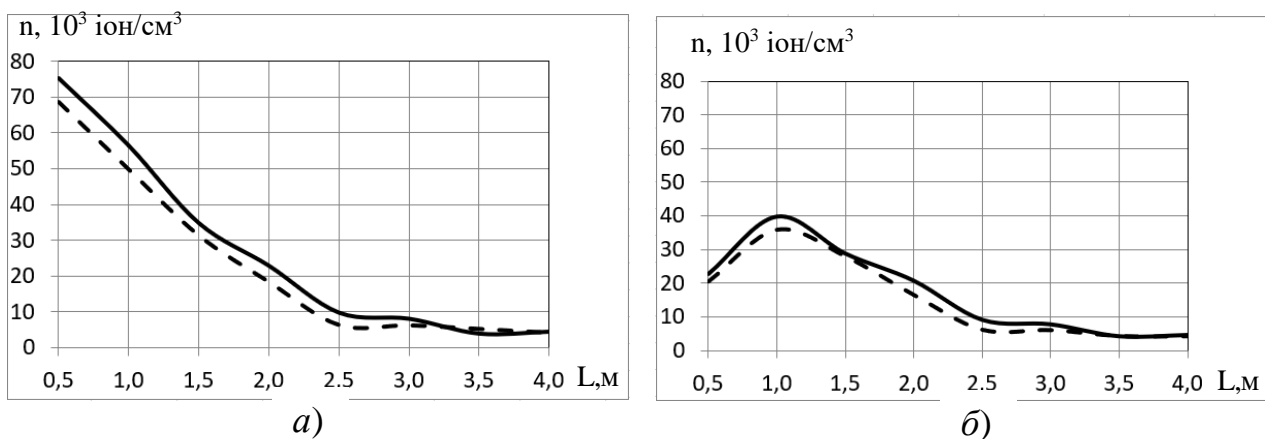


Рисунок 4 - Залежність концентрації іонів обох знаків від розташування іонізатора після 4 с (а) та 6 с (б) з моменту вимкнення приладу

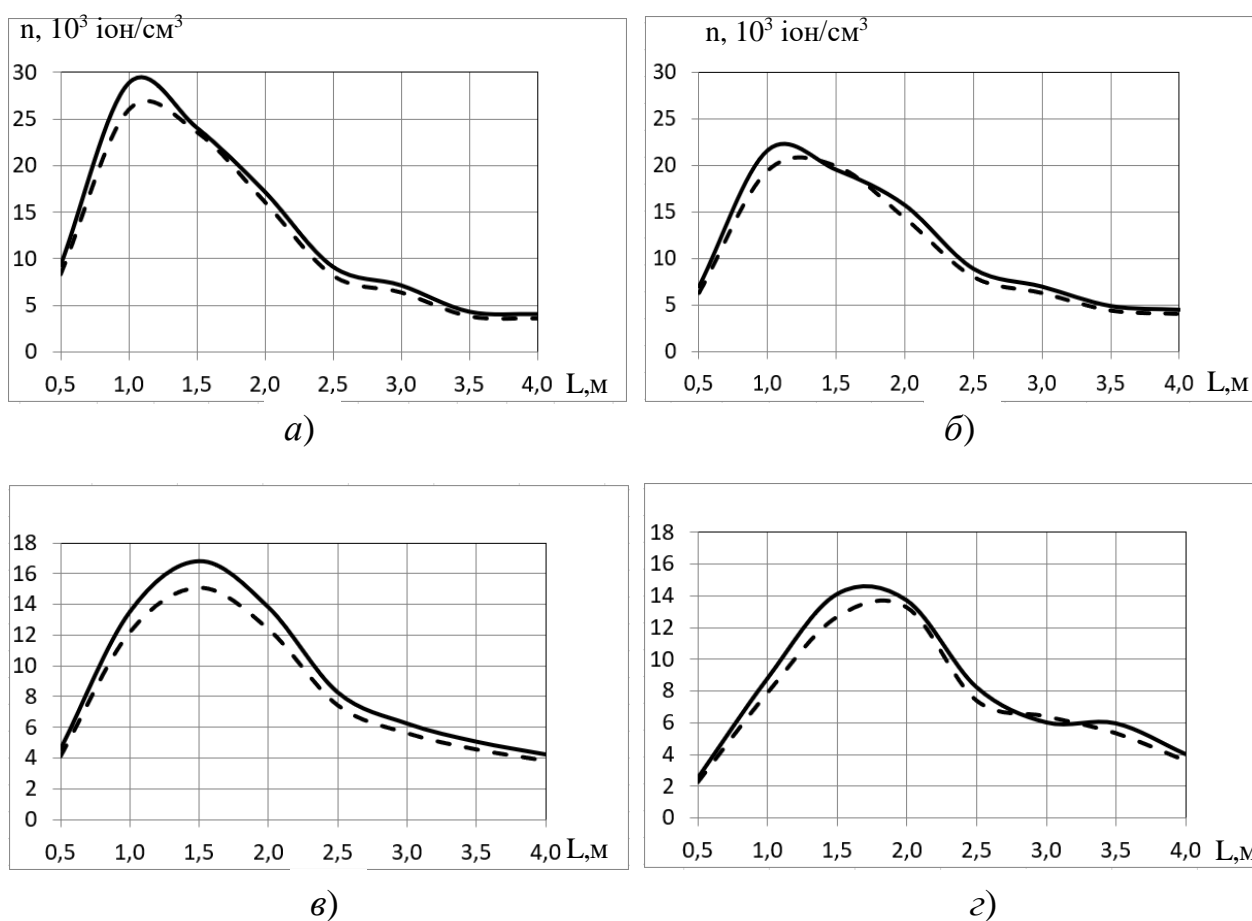


Рисунок 5 - Залежність концентрації іонів обох знаків від розташування іонізатора після 8 с (а), 10 с (б), 12 с (в) та 14 с (г) з моменту вимкнення приладу



Аналіз розподілу іонів на рисунках 4(б) та 5 показує, що з часом максимальна концентрація іонів зміщується на більшу відстань, тобто переміщення іонів здійснюється у формі хвилі. Дане явище пояснюється наявністю у просторі процесів рекомбінації та дифузії, які відбуваються одночасно, а саме процес дифузії накладається на процес рекомбінації і сприяє утворенню більшої концентрації зарядів в окремій області. Тобто процес дифузії проходить активніше ніж процес рекомбінації.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА ПРИНЦИПУ СТВОРЕННЯ БІПОЛЯРНОГО ІОНІЗАТОРА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

#### 3.1 Розробка функціональної і принципової схем макета приладу біполярної іонізації повітря

На основі аналізу результатів експерименту проведеному у розділі 2 можна вважати, що для створення біполярного іонізатора можливо використати режим, при якому іони різної полярності будуть генеруватися не одночасно, а по черзі. На рис. 6 наведена функціональна схема, яка реалізує принцип створення біполярного іонізатора, де підключення та відключення генераторів здійснюється по чергово за допомогою комутатора. Інтервал перемикання  $t_{\text{вкл}} = t_{\text{вим}} = 1$  с.

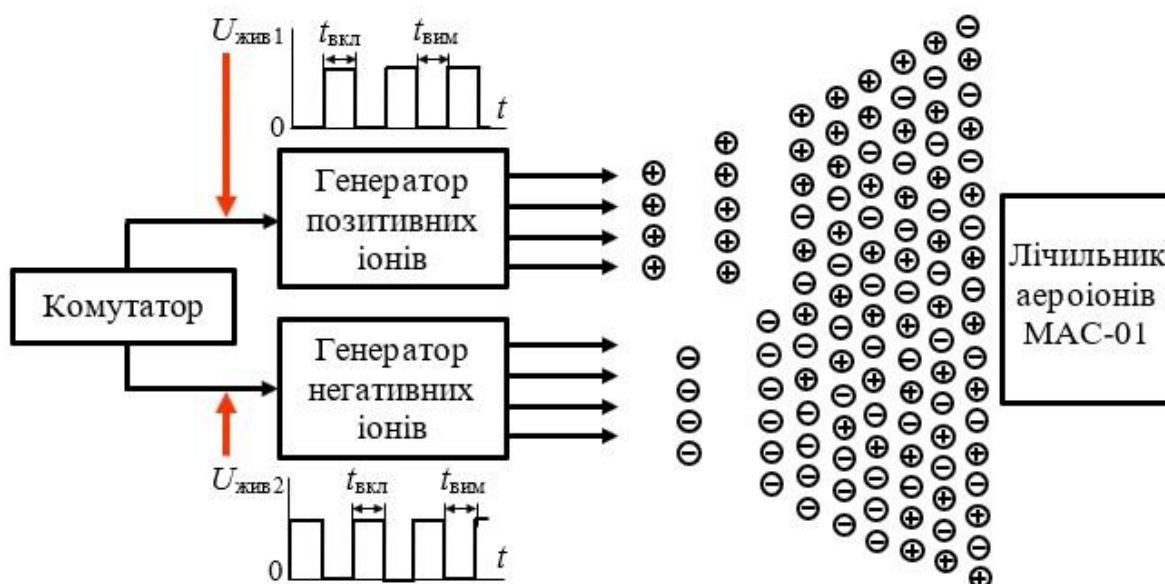


Рисунок 6 – Функціональна схема, яка реалізує принцип створення біполярного іонізатора

В якості генераторів іонів використовувались іонізатори, які досліджувалися в розділі 2. При проведенні експерименту припускалося, що інерційність роботи схеми генераторів невелика і генерація може припинитися за досить короткий час.

Комутатор в процесі роботи подає сигнал ввімкнення на генератор позитивних іонів одночасно з подачею сигналу на вимкнення генератору негативних. Як показав аналіз результатів попереднього експерименту, після виключення іонізатора деіонізація відбувається значно інтенсивніше в областях високих концентрацій іонів, ніж в областях низьких концентрацій. Це пояснюється переміщенням негативних іонів з області високої концентрації в область меншої концентрації, тобто переміщенням іонів в просторі, що називається дифузією.

На рис. 7 представлена принципова електрична схема. Прилад працює наступним чином. При підключенні іонізатора до джерела живлення на передній панелі спалахує червоний і один зелений світлодіод, що свідчить про подання постійної напруги на генератор позитивних та генератор негативних іонів. Генератор позитивних іонів зібраний по схемі генератора негативних іонів зі зміненим напрямом діодів VD3, VD4 на зворотній.

Генератори іонів спільно з п'єзокерамічним трансформатором перетворюють постійну напругу в високовольтну змінну.

Комутатор слугує для перемикання полярності напруги, що подається на іонізуючі електроди.

За допомогою діодного помножувача напруга підвищується до рівня 6000В, випрямляється і подається на іонізуючі електроди. Далі під дією імпульсів високої напруги виникає коронний розряд, що і є джерелом іонів у повітрі.

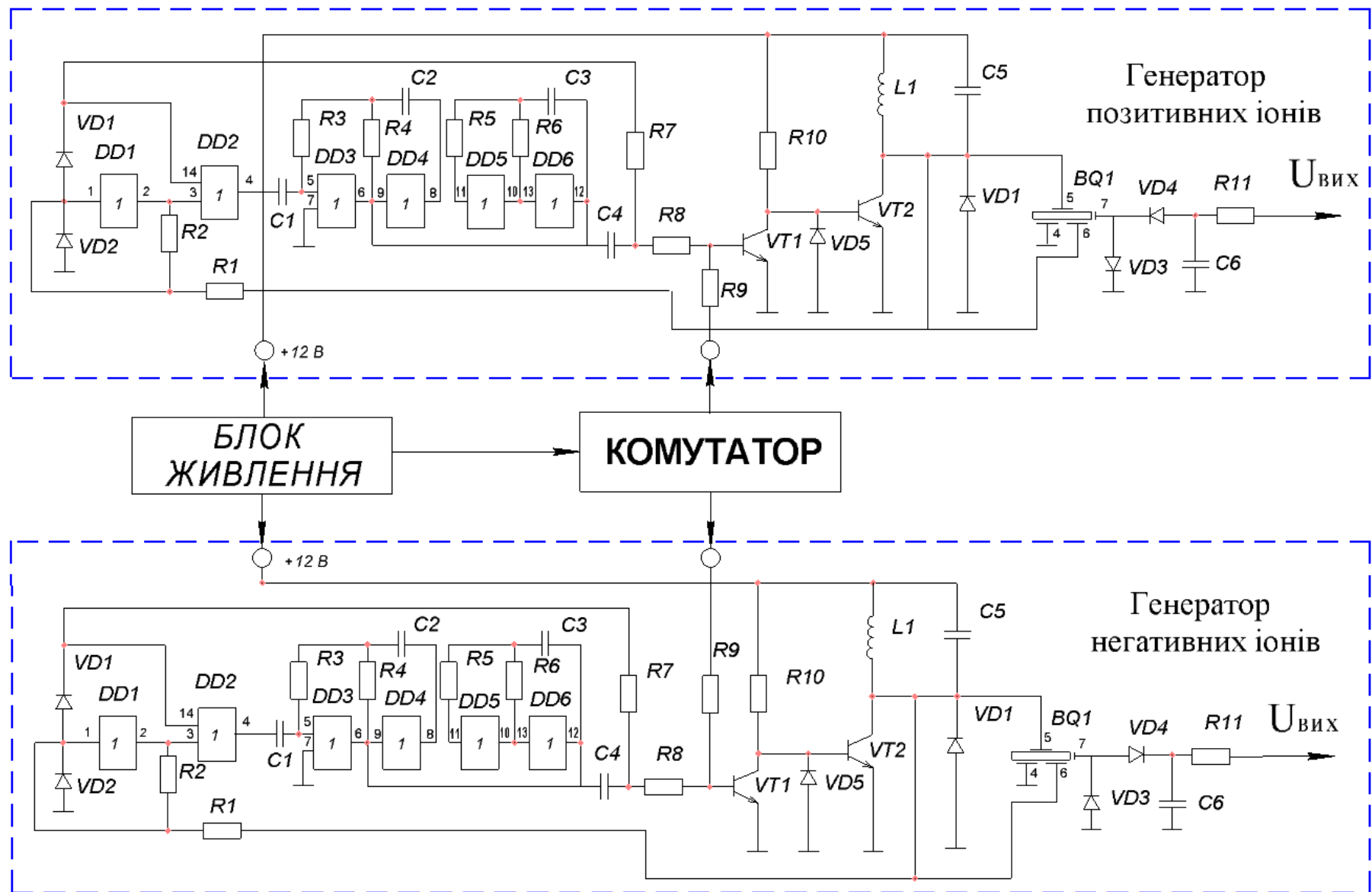


Рисунок 7 – Схема електрична принципова

### 3.2 Дослідження ефективності запропонованого принципу іонізації

Дослідження ефективності роботи прототипів іонізатора проводилося за допомогою лічильника аероіонів МАС-01 в приміщенні. Зовнішній вид лічильника аероіонів і схема розташування приладів в процесі дослідження наведено на рисунку 8.



Рисунок 8 – Зовнішній вид лічильника

Результати вимірів концентрації негативних і позитивних іонів (по три вимірювання для кожної відстані) представлені в таблиці 3.

Вимірювався також коефіцієнт полярності, який являє собою відношення різниці концентрацій позитивних і негативних іонів до їх суми, тобто:

$$P_{\text{вим}} = \frac{n^+ - n^-}{n^- + n^+}$$

Таблиця 3 – Залежність концентрації негативних  $n^-$  і позитивних  $n^+$  іонів від відстані.

Результати вимірювань							
$L, \text{ м}$	$n^-_1$	$n^-_2$	$n^-_3$	$n^+_1$	$n^+_2$	$n^+_3$	$\Pi_{\text{вим}}$
0,4	302	312	300	290	303	289	-0,02
0,6	165	163	163	58,2	57,9	65,2	-0,46
0,8	63	81,1	96,4	2,19	1,52	2	-0,95
1	43,6	52,4	37,8	1	0,87	0,97	-0,96
1,2	12,6	25,4	15,5	0,48	0,52	0,47	-0,95

Для кожної відстані від іонізатора до лічильника проводилося по три вимірювання концентрацій негативних і позитивних іонів і визначалося середнє їх значення за формулою:

$$n_{\text{ср}}^- = \frac{n_1^- + n_2^- + n_3^-}{3}$$

$$n_{\text{ср}}^+ = \frac{n_1^+ + n_2^+ + n_3^+}{3}$$

Коефіцієнт уніполярності обчислювався за формулою:

$$Y_{\text{роз}} = \frac{n_{\text{ср}}^+}{n_{\text{ср}}^-}$$

По даним таблиці 3 побудована графічна залежність концентрацій негативних і позитивних іонів від відстані від іонізатора до лічильника (рисунок 9).

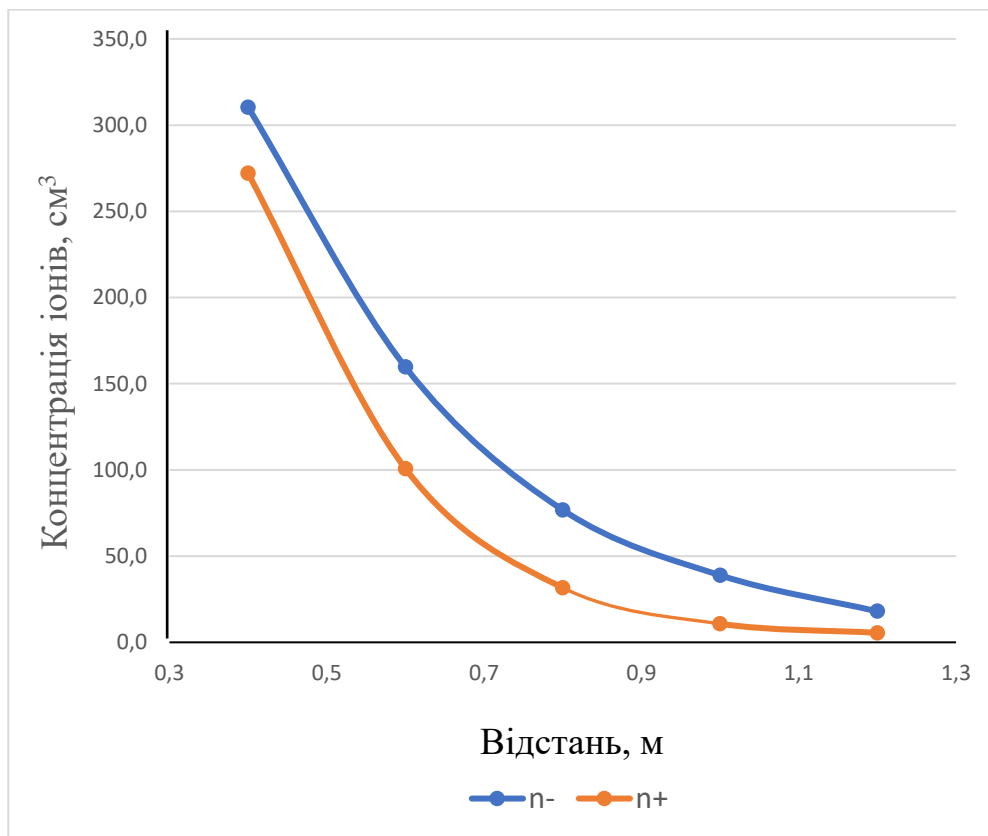


Рисунок 9 - Залежність концентрації негативних і позитивних іонів від розташування іонізатора по відношенню до вимірювального пристрою

Аналіз представлених залежностей показує, що концентрація іонів при віддалені лічильника від іонізатора експоненціально зменшується.

## ВИСНОВКИ

Аналіз розподілу іонів показує, що з часом формується область максимальної концентрації, яка зміщується на більшу відстань, тобто переміщення іонів здійснюється у формі хвилі. Дане явище пояснюється наявністю у просторі процесів рекомбінації та дифузії, які відбуваються одночасно, а саме процес дифузії накладається на процес рекомбінації і сприяє утворенню більшої концентрації зарядів в окремій області. Тобто процес дифузії проходить активніше ніж процес рекомбінації.

Запропоновано принцип роботи приладу, який шляхом почергового підключення генератора негативних і генератора позитивних іонів з інтервалом перемикання в одну секунду забезпечує одночасну присутність у повітрі позитивних і негативних іонів. Цей принцип можливо використовувати при побудові біполярних іонізаторів.

Отримані результати при проведенні експерименту з прототипом іонізатора показали його ефективність.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чижевский А. Л. Аэрификация в народном хозяйстве /А.Л. Чижевский. – 2-изд., сокр. – М.: Стройиздат, 1989. – 488 с.
2. VIII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству [с международным участием]: сборник трудов / отв. ред. Г.Г. Шукин. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2019. – 213 с.
3. Запорожець О.І. Нормування аероінного складу повітря робочих приміщень та основні напрями його вдосконалення / О.І. Запорожець, В.А. Глива, О.В. Сидоров // Вісник НАУ. – 2011. - № 1. – С. 139-143.
4. Article, Shu-Ye Jiang, Ali Ma, Srinivasan Ramachandran: «Negative Air Ions and Their Effects on Human Health and Air Quality Improvement» published 2018 Sep. DOI: 10.1186/s12938-018-0499-z
5. Pino O., Ragione F.L. There's something in the air: Empirical evidence for the effects of negative air ions (NAI) on psychophysiological state and performance. *Res. Psychol. Behav Sci.* 2013;1:48–53. DOI: 10.12691/rpbs-1-4-1.
6. Ogungbe A.S., Akintoye O.H., Idowu B.A. Effects of gaseous ions on the environment and human performance. *Trends Appl. Sci. Res.* 2011;6:130–133. DOI: 10.3923/tasr.2011.130.133.
7. Perez V., Alexander D.D., Bailey W.H. Air ions and mood outcomes: A review and meta-analysis. *BMC Psychiatry.* 2013;13:29. DOI: 10.1186/1471-244X-13-29.
8. Goldstein N. Reactive oxygen species as essential components of ambient air. *Biochemistry.* 2002;67:161–170. DOI: 10.1023/A:1014405828966.
9. Goldstein N., Arshavskaya T.V. Is atmospheric super oxide Vitally necessary? Accelerated death of animals in a quasi-neutral electric atmosphere. *Z. Naturforsch C.* 1997;52:396–404. DOI: 10.1515/znc-1997-5-619.
10. Laza V. The environment and gaseous ions. *Cent. Eur. J. Occup. Environ. Med.* 2000;6:3–10. DOI: 10.3390/ijms19102966.

11. Hoppel W.A., Anderson R.V., Willet J.C. Atmospheric Electricity in the Planetary Boundary Layer, *The Earth's Electrical Environment*. NAS Press; Washington, DC, USA: 1986. pp. 195–205.
12. Harrison R.G., Carslaw K.S. Ion-aerosol-cloud processes in the lower atmosphere. *Rev. Geophys.* 2003;41 DOI: 10.1029/2002RG000114.
13. Chalmers J.A. *Atmospheric Electricity*. 2nd ed. Pergamon Press; Oxford: UK; New York, NY, USA, 1967.
14. Ermakov V.I., Bazilevskaya G.A., Potrevsky P.E., Stozhkov Y.I. Ion balance equation in the atmosphere. *J. Geophys. Res.* 1997;102:23413–23419. DOI: 10.1029/97JD01388.
15. Yates A., Gray F.B., Misiaszek J.I., Wolman W. Air ions: Past problems and future directions. *Environ Int.* 1986;12:99–108. DOI: 10.1016/0160-4120(86)90019-X
16. Lenard P. Über die Electrizedität der Wasserfälle. *Ann. Phys.* 1892;46:584–636. DOI: 10.1002/andp.18922820805.
17. Iwama H. Negative air ions created by water shearing improve erythrocyte deformability and aerobic metabolism. *Indoor Air.* 2004;14:293–297. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2004.00254.x.
18. Nemeryuk G.E. Migration of salts into the atmosphere during transpiration. *Sov. Plant Physiol. (Engl. Transl.)* 1970;17:560–566.
19. Wang J., Li S.H. Changes in negative air ions concentration under different light intensities and development of a model to relate light intensity to directional change. *J. Environ. Manag.* 2009;90:2746–2754. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.03.003.
20. Bachman C.H., Hademenos D.G. Ozone and air ions accompanying biological applications of electric fields. *J. Atmos. Terr. Phys.* 1971;33:497–505. DOI: 10.1016/0021-9169(71)90153-X.
21. Tikhonov V.P., Tsvetkov V.D., Litvinova E.G., Sirota T.V., Kondrashova M.N. Generation of negative air ions by plants upon pulsed stimulation applied to soil. *J. Plant Physiol.* 2004;51:414–419. DOI: 10.1023/B:RUPP.0000028690.74805.e2.

22. Borra J.P., Roos R.A., Renard D., Lazar H., Goldman A., Goldman M. Electrical and chemical consequences of point discharges in a forest during a mist and a thunderstorm. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 1997;30:84–93. DOI: 10.1088/0022-3727/30/1/011.
23. Aubrecht L., Koller J., Stanek Z. Onset voltages of atmospheric corona discharges on plants. *Czech. J. Phys.* 2000;50:313–318. DOI: 10.1007/BF03165903.
24. Aubrecht L., Stanek Z., Koller J. Corona discharge on coniferous trees—Spruce and pine. *Europhys. Lett.* 2001;53:304–390. DOI: 10.1209/epl/i2001-00153-2.
25. Altamimi G., Illias H.A., Mokhtar N., Mokhlis H., Bakar A.H.A. Corona discharges under various types of electrodes; Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon); Kuching Sarawak, Malaysia. 1–3 December 2014; pp. 5–8.
26. Ogar V.N., Bendor S.A., James A.E. Analysis of corona effect on transmission line. *Am. J. Eng. Res.* 2017;6:75–87.
27. Berendt A., Budnarowska M., Mizeraczyk J. DC negative corona discharge characteristics in air flowing transversely and longitudinally through a needle-plate electrode gap. *J. Electrostat.* 2018;92:24–30. DOI: 10.1016/j.elstat.2018.01.006.
28. Sharma S., Goel K., Gupta A., Kumar H. Corona effects on eHv AC transmission lines. *Int. J. Sci. Res. Eng. Technol.* 2012;1:160–164.
29. Manabe Y., Shimazaki T. Formation mechanism of surface corona on dielectric plates under negative impulse voltage in atmospheric air. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 2004;11:631–637. DOI: 10.1109/TDEI.2004.1324353.
30. Murr L.E. Plant growth response in a simulated electric field-environment. *Nature.* 1963;200:490–491. DOI: 10.1038/200490b0.
31. Murr L.E. Biophysics of plant growth in an electrostatic field. *Nature.* 1965;206:467–470. DOI: 10.1038/206467a0.
32. Krueger A.P., Strubbe A.E., Yost M.G., Reed E.J. Electric fields, small air ions and biological effects. *Int. J. Biometeorol.* 1978;22:202–212. DOI: 10.1007/BF01555399.

33. Hart F.X., Schottenfeld R.S. Evaporation and plant damage in electric fields. *Int. J. Biometeor.* 1979;23:63–68. DOI: 10.1007/BF01553377.

34. Hart F.X., Mudano M.J., Atchley A.A. Plant damage produced by the passage of low level direct current. II. Further observations and possible mechanisms. *Int. J. Biometeor.* 1981;25:151–159. DOI: 10.1007/BF02184463.

35. Паэранд Ю.Э., Захожай О.И., Пепенин Р.Р., Замогильная Н.Ю. Вестник МАНЭБ. – Алчевск: ВО МАНЭБ, ЧП КП «МЕГА-ПРИНТ», 2006, т.11, вып. 4 (100), С.57-61.