

UDC 628.5/8 : 614.7

**Serhii Sukach**<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6834-0197> **e-mail:** [sergvs69@ukr.net](mailto:sergvs69@ukr.net)

**Olha Chenchewa**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5691-7884> **e-mail:** [chenchevaolga@gmail.com](mailto:chenchevaolga@gmail.com)

**Tetiana Kozlovskaya**<sup>2</sup>, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6106-5524> **e-mail:** [kozlovskaya5819@gmail.com](mailto:kozlovskaya5819@gmail.com)

**Yevhenii Lashko**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9691-4648> **e-mail:** [evgeny.lashko.lj@gmail.com](mailto:evgeny.lashko.lj@gmail.com)

**Dmytro Rieznik**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1258-6136> **e-mail:** [2411dimareznik@gmail.com](mailto:2411dimareznik@gmail.com)

**Kostiantyn Tkachuk**<sup>3</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5230-9980> **e-mail:** [kkttkk297@gmail.com](mailto:kkttkk297@gmail.com)

<sup>1</sup>Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

<sup>2</sup>Kremenchuk flight college of National Aviation University, Kremenchuk, Ukraine

<sup>3</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

## ENSURING THE NORMALIZATION OF THE AERO-IONIC REGIME IN PRODUCTION AREAS BY MEANS OF ULTRASONIC AIR IONIZATION

**Abstract.** *The results of studies on the normalization of the aeroionic regime in rooms under ultrasonic ionization of humidified air are presented. The increase in the concentration of negative aeroions under these conditions by the combined effect of the balloelectric effect and ultrasonic cavitation is substantiated. It has been established that when distilled water is used as a source of air ions under the action of a 10 W ultrasonic generator at a distance of 0.5 m, the concentration of negative air ions increases almost sixfold. At the same time, due to the joint effect of ultrasonic cavitation in the surface layer of water and the balloelectric effect, no generation of ozone and nitrogen oxides is caused. It is proved that with a decrease in the degree of water mineralization, the concentrations of negative and positive aeroions increase due to changes in the physicochemical properties of water and the resulting mechanochemical phenomena. The mechanism of formation of air ions in the air of industrial premises under the combined action of the balloelectric effect and ultrasound is proposed. It is substantiated that the quality of the air ionic composition of industrial premises air improves at a temperature of demineralized water of 20-25 °C and a directed air flow of 6 m/s towards the working area with the combined effect of ultrasound and balloelectric effect, which contributes to the improvement of sanitary and hygienic working conditions. The structure of an automated system for controlling the aeroionic regime of the working area of industrial premises with artificial ionization of humidified air using an aeroion generator and a ventilation system is proposed. This will allow monitoring and processing of information on technological, electrical and microclimatic parameters, adjusting, coordinating and jointly controlling the ventilation system devices and the ultrasonic generator of air ions.*

**Key words:** *aeroionic mode, balloelectric effect, ultrasonic cavitation, working area, production facility.*

С.В. Сукач<sup>1</sup>, О.О. Ченчева<sup>1</sup>, Т.Ф. Козловська<sup>2</sup>, Є.Є. Лашко<sup>1</sup>, Д.В. Рєзнік<sup>1</sup>,  
К.К. Ткачук<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, Україна

<sup>2</sup>Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, Кременчук, Україна

<sup>3</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАЛІЗАЦІЇ АЕРОІОННОГО РЕЖИМУ У ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ ШЛЯХОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ

**Анотація.** Наведено результати досліджень щодо нормалізації аероіонного режиму у приміщеннях під час ультразвукової іонізації зволоженого повітря. Обґрунтовано підвищення показників концентрації негативних аероіонів у виробничих умовах за рахунок комплексного впливу балоелектричного ефекту й ультразвукової кавітації. Встановлено, що за використання дистильованої води як джерела аероіонів у результаті дії ультразвукового генератора потужністю 10 Вт на відстані 0,5 м показники концентрації негативних аероіонів зростають практично у шість разів. Водночас, за рахунок спільного впливу балоелектричного ефекту й ультразвукової кавітації у поверхневому шарі води не спричиняється генерація озону й оксидів Нітрогену. Доведено, що зі зниженням ступеня мінералізації води показники концентрації позитивних і негативних аероіонів зростають унаслідок зміни фізико-хімічних властивостей дистильованої води та виникаючих механохімічних явищ. Запропоновано вдосконалений механізм утворення аероіонів у повітрі виробничих об'єктів під час спільної дії ультразвуку та балоелектричного ефекту. Обґрунтовано, що суттєве покращення якості аероіонного складу повітря у виробничих умовах відбувається за температури демінералізованої води 20–25 °С та направленою повітряною потоку швидкістю 6 м/с в бік робочої зони під час спільної дії балоелектричного ефекту й ультразвуку, що сприяє значному покращенню санітарно-гігієнічних умов праці. Запропоновано вдосконалену структуру автоматизованої системи керування аероіонним режимом робочої зони виробничих об'єктів під час штучної іонізації зволоженого повітря за рахунок використання вентиляційної системи та генератора аероіонів. Це вможливить здійснення моніторингу й обробки інформації про технологічні, електричні та мікрокліматичні параметри, а також налаштування, узгодження роботи та спільне керування ультразвуковим генератором аероіонів і пристроями вентиляційної системи.  
**Ключові слова:** аероіонний режим, балоелектричний ефект, ультразвукова кавітація, робоча зона, виробниче приміщення.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.3.88-101>

### Вступ

Концентрація аероіонів обох полярностей у повітрі виробничого середовища є дуже важливим показником його якості, оскільки для виробничого середовища є характерною наявність у багатьох випадках чинників іонізації та деіонізації повітря у вигляді електротехнічного обладнання, кондиціонерів, персональних комп'ютерів тощо. Водночас, значний вплив на зазначені показники матиме присутність людей. За таких умов концентрації аероіонів можуть змінюватись непередбачуваним чином.

Аналіз впливу аероіонів на організм людини [1] показав, що збільшення концентрації негативно заряджених аероіонів сприяє зниженню відчуття втоми під час виконання робіт різного типу. Водночас, нормалізується обмін речовин, полегшується дихання, підвищуються розумова та фізична працездатність. Отже, загалом відбувається зміцнення нервової системи людини за рахунок підвищення її стресостійкості.

Так, достатньо вивченими є також питання утворення аероіонів за наявності двооксиду карбону ( $\text{CO}_2$ ) та розроблення, ґрунтуючись на зазначеному, математичних моделей здійснення моніторингу концентрацій цієї речовини у виробничих приміщеннях [2]. Проте, на сьогодні немає однозначного уявлення щодо механізмів утворення аероіонів в умовах зволоженого повітря виробничих приміщень залежно від ступеня мінералізації мікрокраплин води, які визначають вологість повітря, за наявності частинок пилу різної природи. Відсутні також дані щодо нормативів вмісту за відповідних виробничих умов. Так, лише у ДБН № 2152-80 встановлені нормативи вмісту негативних аероіонів у повітрі виробничих і громадських приміщень: необхідний мінімум – 600 аероіонів/см<sup>3</sup>, а оптимальний рівень – 3000–5000 аероіонів/см<sup>3</sup>.

Отже, актуальність дослідження полягає у визначенні механізмів впливу вологості в залежності від ступеня мінералізації води та сумісної дії балоелектричного ефекту й ультразвукової кавітації на формування аероіонного складу повітря виробничих приміщень із метою поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці робітників.

### **Аналіз літературних джерел**

Дослідження концентрацій аероіонів у повітрі виробничих приміщень безпосередньо пов'язані з вивченням впливу технічних засобів і присутності людей задля фізіолого-гігієнічного оцінювання мікроклімату сучасних офісних приміщень й адаптаційних реакцій організму робітників [3, 4]. Тому робота сучасних автоматизованих систем підтримки мікроклімату [5] ґрунтується на застосуванні комп'ютеризованих вимірювальних приладів задля збору параметрів мікроклімату промислових приміщень. Зазначені автоматизовані системи використовуються у сучасних системах витиснювальної вентиляції [6]. Значний інтерес визначається двома причинами: одна з яких – певна «нетрадиційність» методів розрахунку, а друга пов'язана з тим, що область застосування Displacement Ventilation (DV) і модифікацій – Cooled Beam, UFAD тощо, методи проектування та регулювання на сьогодні чітко так і не визначені. Варто зазначити, що системи керування як комплексів вентиляції, так й окремих систем підтримання аероіонного складу повітря можуть будуватися за різними принципами. Відповідно, задача забезпечення оптимального рівня аероіонів у повітрі є багатофакторною, у якій усі параметри тісно взаємозалежні один від одного [7].

Саме для розв'язання таких задач застосовують інтелектуальні системи, у яких використовують засоби нечіткого керування чи генетичні алгоритми [8, 9].

Проте, незважаючи на всі переваги таких підходів, наразі не існує формальних процедур проектування інтелектуальних систем, а основні ідеї проектування ґрунтуються на досвіді та знаннях розробника, отримані методом спроб і помилок. Останнім часом для опису складних динамічних

процесів і підвищення якості регулювання, зокрема й багатовимірних моделей, набули поширення системи із дробновимірними регуляторами [10, 11]. Проте, у багатьох випадках до приміщення надходить зовнішнє повітря з незадовільними концентраціями аероіонів обох чи однієї полярностей, що вказує на складний механізм утворення та динаміки концентрацій аероіонів у виробничих приміщеннях протягом робочого дня.

Авторами [12] показано, що обладнання інформаційних технологій (системні блоки персональних комп'ютерів, друкувальні пристрої тощо) також здійснює вплив на іонізацію повітря. Так, існує суттєвий взаємний вплив іонізації повітря та рівнів вмісту дрібнодисперсного пилу й аерозолі у виробничому середовищі та відносної вологості повітря. У [13] відпрацьовано систему аерозольного забруднення приміщення й обрано методи контролю аерозольного забруднення. Проте, у ній не розкрито питання регулювання аероіонного складу повітря виробничих приміщень задля комплексного оцінювання санітарно-гігієнічних умов праці. На сьогодні відомими є тільки роботи, які присвячені дослідженням поліпшення аероіонного складу приміщень побутового призначення [14, 15] шляхом застосування нових марок ґрунтовок і фарб, які сприяють підвищенню концентрацій негативних аероіонів під час виконання ремонтних робіт.

Важливим окремим питанням є також те, що використання штучних іонізаторів повітря у робочих приміщеннях призводить до утворення таких шкідливих речовин, як озон й оксиди нітрогену, які за значної концентрації здійснюють несприятливий вплив на людину. Використання у таких випадках каталітичних поглиначів є дуже проблематичним і в іонізаторах повітря не практикується. Тому доцільним є пошук інших засобів іонізації повітря, у яких відсутні побічні ефекти. Так, відомо, що чинником іонізації є балоелектричний ефект [16, 17] – іонізація повітря під час механічного подрібнення води.

Проведені заміри поблизу душових установок із генерації легких аероіонів показують, що диспергування води починається з утворення молекулярних комплексів. Зокрема, встановлено, що під час роботи зволожувача повітря «Іон» в умовах термостатування водопровідної води можна спостерігати інтенсивний розвиток мікроорганізмів, навіть за кімнатної температури [13].

Отже, для усунення зазначеної проблеми необхідним є проведення експериментальних досліджень зміни концентрації аероіонів обох полярностей від ступеня мінералізації води. Так, можна очікувати, що найбільш ефективним буде подрібнювання води за спільної дії ультразвукової кавітації та балоелектричного ефекту. Використовувати зазначений спосіб іонізації повітря доцільно у приміщеннях із сильно деіонізованим повітрям, а отже, необхідно забезпечити значні обсяги генерації аероіонів.

Механізм утворення легких аероіонів під час руйнування поверхні води досі залишається нез'ясованим. Водночас, результати проведених досліджень є протилежними та суперечливими. Проте, у більшості експериментів показано, що саме балоелектричний ефект сприяє збільшенню концентрації тільки негативних аероіонів.

Отже, задля підтримання максимальної кількості аероіонів у виробничому середовищі необхідно провести низку експериментальних досліджень із використанням води різного ступеня мінералізації, температури, концентрації розчинів солоної води, зміни швидкості руху повітря й інтенсивності ультразвуку.

Дослідження цієї статті є логічним продовженням власних теоретико-експериментальних досліджень параметрів гідроаероіонного складу повітря приміщень різного типу та призначення, які відображено у наукових статтях [18–20].

## Мета роботи

Метою дослідження є підвищення рівня комфортності та працездатності робітників шляхом збільшення концентрацій негативних аероіонів у робочій зоні.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити такі задачі:

– виконати експериментальні дослідження змін концентрацій аероіонів обох полярностей з метою визначення фактичних рівнів іонізації повітря виробничих приміщень і встановлення необхідних меж керування їхніми концентраціями;

– експериментально визначити динаміку концентрацій аероіонів у залежності від зміни фізичних факторів під час ультразвукової іонізації повітря;

– розробити структуру автоматизованої системи керування аероіонним складом повітря виробничих приміщень з метою поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці.

## Матеріали і методи

Під час проведення експериментальних досліджень для генерації аероіонів використано малогабаритний ультразвуковий генератор аероіонів (UAG) із потужністю 10 Вт, напругою 19–24 В DC, струмом 500 мА і резонансною частотою 1,7 МГц. Вода на мембрану UAG надходила за допомогою занурювального насосу Му 108, потужністю 2,5 Вт, максимальною швидкістю потоку води 180 дм<sup>3</sup>/год.,  $h_{max}$  – 0,48–0,55 м. Для розсіювання аероіонів застосовувався вентилятор ROTEX RAT01–E, максимальної потужності 20 Вт.

Швидкість руху повітря виміряна за допомогою термоанемометра ТМ-4001, потоку повітря (обсягу) 0–9999 мм<sup>3</sup>, температури 20–50 °С, швидкості повітря 0,01–25,00 м/с.

З метою автоматизації процесу контролю використано лічильник аероіонів «Сапфір 3К», обладнаний портом RS 232 для підключення персонального комп'ютера (рис. 1). Вимірювання концентрації аероіонів виконувались за розробленою методикою [12] на серійному приладі «Сапфір 3К» за похибки вимірювання 20%. Відповідно, концентрація легких аероіонів ( $n_{zm}$ ) визначається як середнє арифметичне 24-х показів приладу, зареєстрованих безперервно протягом двох хвилин вимірювань [16]. Водночас, випадкова похибка  $\Delta\rho < \delta/3$ , що є достатньою умовою, за якої похибка вимірювань концентрації аероіонів  $\Delta$  є рівною системній інструментальній похибці  $\delta$ .

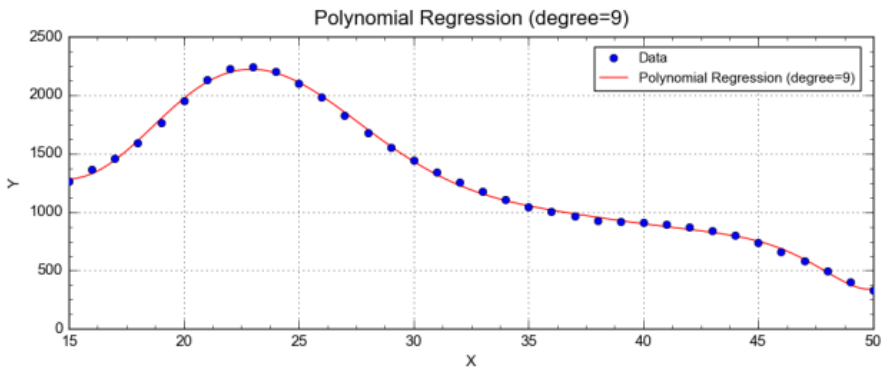
## Результати дослідження

Математична обробка отриманих масивів даних замірів концентрацій аероіонів обох полярностей здійснювалась відповідно до [12].

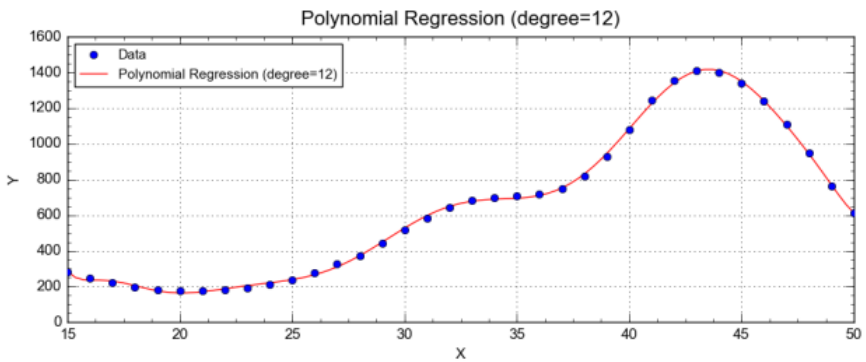


Рис. 1. Комплекс дослідження динаміки концентрації аероіонів за рахунок балоелектричного ефекту й ультразвукової кавітації

З метою встановлення залежності зміни концентрації аероіонів обох полярностей від температури водного розчину, проведено дослідження, за якого на працюючу мембрану ультразвукового генератора надходив тонкий струмінь дистильованої води з температурою в інтервалі від 15 до 50 °С. Відстань від ультразвукового генератора аероіонів до лічильника аероіонів «Сапфір ЗК» – 0,5 м. Апроксимовані графіки залежностей наведені на рис. 2, а, б.



а)



б)

Рис. 2. Динаміка концентрації аероіонів за ультразвукової обробки залежно від температури дистильованої води: а – негативних (фон –  $n^- = 371 \text{ см}^{-3}$ ); б – позитивних (фон –  $n^+ = 394 \text{ см}^{-3}$ )

Аналіз отриманих експериментальних даних (рис. 2, а, б; табл. 1) показав, що найбільшій концентрації негативних аероіонів можна досягти, підтримуючи температуру від 20 до 25 °С.

Табл. 1. Функціональні залежності зміни аероіонів від температури дистильованої води

Аероіони	Апроксимуючі функції
$n^-$	$y=18,782x^3-362,8x^2+1931,1x-1258,1; R^2=0,99$
$n^+$	$y=-12,633x^3+197,92x^2-784,73x+1067,7; R^2=0,99$

Концентрація позитивних аероіонів найбільшого значення набуває при 42–45 °С, проте, після 45 °С знову спадає. Крім того, в діапазоні температур 35–37 °С спостерігається встановлення механохімічної рівноваги: концентрації негативних і позитивних аероіонів є практично однаковими. У цьому випадку швидкості утворення аероіонів обох знаків дорівнюють швидкостям рекомбінації.

Характер кривих зміни концентрації аероіонів від температури водного розчину (рис. 2, а, б) є, з одного боку, однаковим, а з іншого – графік зміни концентрацій позитивних аероіонів є віддзеркаленням графіка змін негативних аероіонів. Відрізняється лише інтенсивність піків. Необхідно також зазначити, що зі зростанням температури середовища зменшується в'язкість води, збільшується рухливість молекул води. Внаслідок цього одночасно слабшають міжмолекулярні та внутрішньомолекулярні водневі зв'язки ...Н–ОН....ОН–Н..... Зазначене полегшує утворення гідроген-аероіонів ( $H^+$ ), гідроксоній-аероіонів ( $H_3O^+$  – гідратована форма гідроген-аероіона) та гідроксил-аероіонів ( $HO^-$ ).

Оскільки молекулярна маса гідроген-аероіону становить усього лише 1 а.о., а гідроксоній-аероіонів – 19 а.о., то  $H^+$  легше виходить на поверхню зі внутрішніх прошарків води. Тому спостерігається збільшення концентрації за температури 20–25 °С. Молекулярна маса гідроксил-аероіона складає 17 а.о. На його вихід із водної товщі необхідно витратити більше енергії, що можливо за температури 42–45 °С.

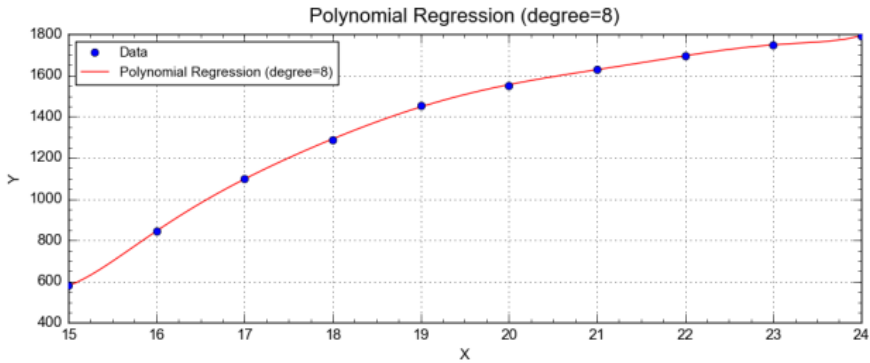
Одночасно в інтервалі температур 20–42 °С можна спостерігати поступове зниження концентрації гідроген-аероіонів і зростання гідроксил-аероіонів, що пов'язано з тим, що зі зростанням температури води на її поверхню виходять власне молекули  $H_2O$  та починається процес «розклад–рекомбінація».



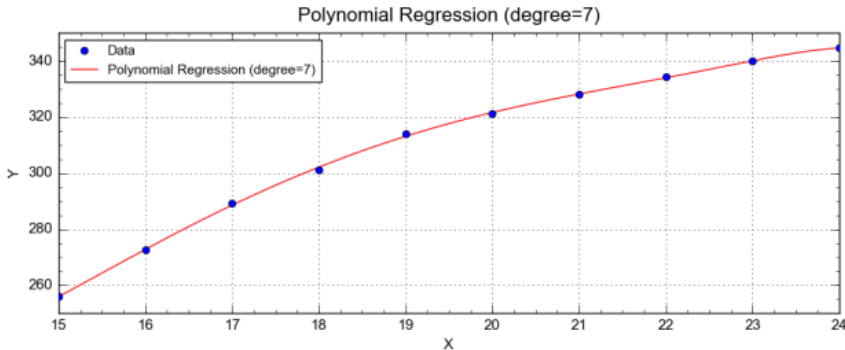
Отже, підвищення температури сприяє аероіонізації повітря виробничого середовища, й у поєднанні з явищем ультразвукової кавітації досягається додаткове зволоження повітря приміщень, що сприяє збільшенню рівня комфортності для працівників. Варто зазначити, що ультразвукова кавітація генерує акустичну кавітацію, яка за рахунок підвищеного тиску в пустотах

рідини як суцільного середовища сприяє розриву міжмолекулярних водневих зв'язків і відриву молекул води від частинок  $H_3O^+$ , виштовхуванню з товщі молекул води, що й підвищує вологість повітря виробничого середовища.

Подальше дослідження проводилося з метою встановлення залежності зміни концентрації аероіонів, коли на працюючий п'єзоелемент ультразвукового генератора, напруга якого змінювалась у межах від 16 до 24 В, надходив тонкий струмінь дистильованої води. Відстань від ультразвукового генератора аероіонів до лічильника аероіонів «Сапфір 3К» – 0,5 м. Апроксимований графік залежностей наведений на рис. 3, а, б.



а)



б)

Рис. 3. Динаміка концентрації аероіонів за ультразвукової обробки дистильованої води від напруги на УАГ: а – негативних (фон –  $n^- = 371 \text{ см}^{-3}$ ); б – позитивних (фон –  $n^+ = 394 \text{ см}^{-3}$ )

Якщо за попередніми даними (рис. 2) під час іонізації повітря відбувався спільний вплив балоелектричного ефекту й ультразвукової кавітації, то у зазначеному випадку (рис. 3, а, б) спостерігається переважний вплив саме кавітаційних процесів за рахунок трансформації низької щільності енергії ультразвуку на високу щільність енергії поблизу й усередині газової бульбашки. За зростання напруги на резонансній мембрані у діапазоні від 16 до 24 В відбувається збільшення інтенсивності ультразвуку та, як наслідок, кавітаційних процесів, що зумовлює збільшення вмісту гідроіонних частинок у повітрі.



Аналіз графіків динаміки концентрації аероіонів під час ультразвукової обробки дистильованої води від напруги на UAG (рис. 3, а, б, табл. 2) показав, що концентрація негативних аероіонів збільшується практично у три рази, а концентрація позитивних практично не змінюється. Це зумовлено механохімічною природою явищ, які відбуваються, та деструктивною дією ультразвуку.

Табл. 2. Функціональні залежності зміни концентрації аероіонів від напруги на UAG

Аероіони	Апроксимуючі функції
$n^-$	$y = -134,7x^2 + 1088x - 153,7; R^2 = 0,99$
$n^+$	$y = -3,958x^2 + 60,62x + 223,3; R^2 = 0,99$

У зазначеному випадку можна вважати, що відбувається процес переорієнтації диполів води у полі впливу напруги від ультразвукового генератора аероіонів й одночасно механодеструкція у вигляді розриву хімічних зв'язків з утворенням відповідних аероіонів обох полярностей.

У такому випадку дію ультразвуку можна прирівняти до акустично-механічного впливу, оскільки здійснюється звуковий тиск на водне середовище й одночасно на хімічні зв'язки.

Так, у полі прикладення механічних сил у вигляді звукового тиску значення набувають швидкості повітряного потоку та, відповідно, рівень енергетичного виходу молекул на поверхню, тобто, вплив температури середовища з подальшим утворенням аероіонів обох полярностей. Збільшення величини напруги ультразвукового генератора аероіонів є протидією процесам рекомбінації утворених аероіонів, унаслідок чого концентрації негативних і позитивних аероіонів зростають. Після зняття напруги концентрації аероіонів зменшуватимуться за рахунок процесу рекомбінації та явищ хімічної взаємодії з домішками, які знаходяться у повітрі виробничих приміщень.

Окремо необхідно зазначити, що це дослідження проводилося за відсутності людей і за вимкненого технологічного обладнання, яке може впливати на кількість і направленість розповсюдження аероіонів у виробничому середовищі.

Проведені експериментальні дослідження дозволили запропонувати структуру автоматизованого програмно-технічного комплексу ультразвукової аероіонізації робочої зони у поєднанні з УФ-рециркулятором (рис. 4).

Одночасно з газоподібними складовими у повітрі виробничих приміщень завжди присутні частинки виробничого пилу, тому необхідним є їх уловлення шляхом зволоження робочого повітря.

Необхідна кількість негативних іонів, які здатні забезпечувати комфортний аероіонний склад і необхідну швидкість осідання виробничого пилу, задається параметром  $N^-_{\text{зад}}$ . Поточний рівень іонів на робочому місці контролюється в індивідуальній зоні комфортності робочого місця працівника за допомогою лічильника аероіонів і системи відповідних датчиків. Кількість негативних іонів у зоні комфортності працівника ( $N^-_{\text{УФ}}$  і  $N^-_{\text{УЗГА}}$ ), які згенеровані системою штучної іонізації на основі УЗГА й УФ-рециркулятора, постійно узгоджується блоком порівняння контрольних показників аероіонного складу за заданими нормативними показниками ( $N^-_{\text{зад}}$ ) та формує на основі розузгодження цих

показників сигнал ( $\varepsilon$ ) системі керування (СК). СК є основним елементом, яка керує низкою підпорядкованих їй пристроїв у залежності від заданого режиму роботи та сигналу розузгодження від блоку порівняння. До них належать: насос, який забезпечує задані показники подачі води на мембрану УЗГА; вентилятор, який забезпечує необхідну швидкість руху повітряних потоків в індивідуальній зоні працівника та розповсюдження аероіонів; регулятор температури, реалізований на елементах Пельтьє для контрольованого безінерційного підтримування температурних режимів води для УЗГА; регулятор напруги, який контролює продуктивність УЗГА, та сигнал управління, який керує УФ-рециркулятором для забезпечення додаткового джерела іонів у період критично низьких показників кількості іонів і сильного запилення повітряного простору працівника. Від СК подається сигнал завдання ( $U_{керН}$ ) на перетворювач частоти (ПЧ), який керує швидкістю обертання приводного двигуна насоса ( $\omega_n$ ). Це забезпечує необхідні показники подачі води на мембрану УЗГА ( $Q$ ). Вентилятор під дією керуючого сигналу від ПЧ ( $\omega_v$ ) забезпечує необхідну швидкість руху аероіонів у робочу зону ( $V$ ). Для контрольованого безінерційного підтримування температурних режимів води для УЗГА ( $T$ ) на регулятор температури подається сигнал завдання від СК ( $U_{керТ}$ ), який, залежно від необхідного температурного режиму (охолодження чи нагрів), керує роботою двох елементів Пельтьє ( $U_T$ ). Регулятор напруги, який отримує керуючий вплив ( $U_{керГ}$ ) від системи керування, забезпечує необхідну продуктивність роботи УЗГА ( $U_T$ ).

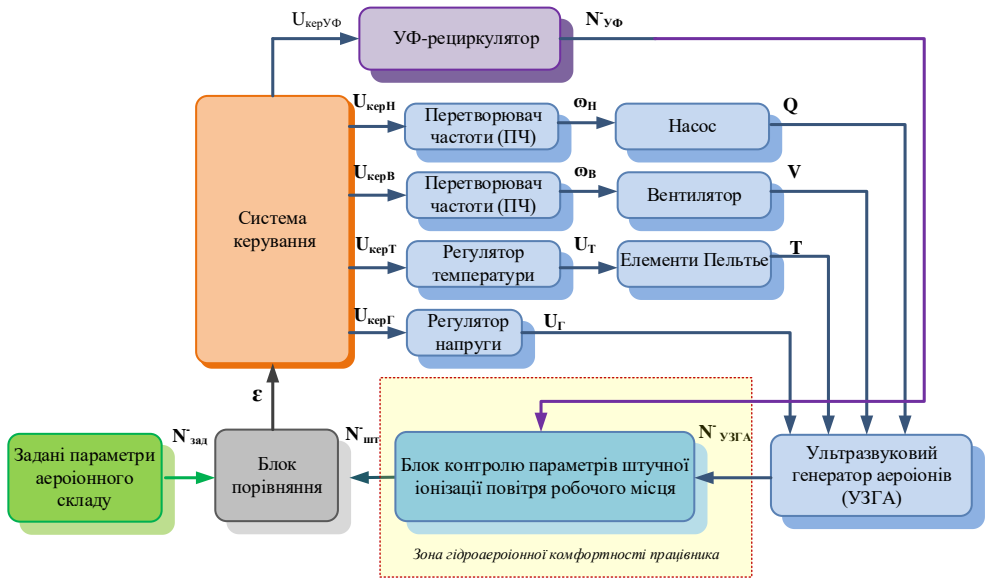


Рис. 4. Структурна схема реалізації системи керування параметрами штучної іонізації індивідуальної зони комфортності робочого місця працівника

Упровадження програмно-технічного комплексу автоматизованої системи управління ультразвуковою гідроаероіонізацією за рахунок комплексного підходу до нормування іонного складу повітря та контрольованого осадження виробничого пилу в робочій зоні цехів механічної обробки композиційних матеріалів дозволить створити комфортні та безпечні умови праці.

## Висновки

У результаті виконаного комплексного дослідження можна зробити висновок, що:

1. Використання малогабаритного ультразвукового генератора аероіонів потужністю 10 Вт на відстані 0,5 м із застосуванням дистильованої води збільшує концентрацію негативних аероіонів практично у шість разів. За рахунок спільного впливу ультразвукової кавітації поверхневого шару води та балоелектричного ефекту не відбувається генерації озону й оксидів азоту, що створює комфортний аероіонний склад повітря у робочій зоні виробничих приміщень.

2. Запропонована структура автоматизованої системи керування аероіонним складом повітря виробничих приміщень реалізує комбіновану зміну швидкості обертання вентилятора та насосу, температурного режиму водного розчину за рахунок елементів Пельтьє та потужності ультразвукового генератора аероіонів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Глива В. А. Дослідження впливу мікрокліматичних параметрів повітрообміну на аероіонний склад повітря робочих приміщень. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2011. № 20. С. 58–65.
2. Laktionov I., Vovna O., Cherevko O., Kozlovskaya T. Mathematical model for monitoring carbon dioxide concentration in industrial greenhouses. *Agronomy Research*. 2018. Vol. 16, No. 1. PP. 134–146. <http://dx.doi.org/10.15159/ar.17.074>.
3. Назаренко В. І., Терещенко П. С., Палійчук С. П. й ін. Фізіолого-гігієнічна оцінка мікроклімату сучасних офісних приміщень та адаптаційні реакції організму офісних працівників. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2014. № 2. С. 41–47.
4. Fletcher L. A., Noakes C. J., Sleigh P. A. et al. Air ion behavior in ventilated rooms. *Indoor and Built Environment*. 2008. No. 17 ( 2). P. 173–183.
5. Laktionov I., Vovna O., Zori A. Concept of low cost computerized measuring system for microclimate parameters of greenhouses. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2017 (August). Volume 23, Issue 4. P. 668–673.
6. Laurent Magnier-Bergeron, Dominique Derome, Radu Zmeureanu. Three-dimensional model of air speed in the secondary zone of displacement ventilation jet. *Building and Environment*. 2017 (March). Vol. 114. P. 483–494.
7. Запорожець О. І. й ін. Визначення параметрів оптимальної комфортності у робочій зоні приміщення за показниками повітряного середовища. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2017. Випуск 1/2017 (102). С. 17–21.
8. Chan-oh Min. Control of approach and landing phase for reentry vehicle using fuzzy logic. *Aerospace Science and Technology*. 2011. No. 15. P. 269–282.
9. Atencia Villagomez J. M., Diveev A. I., Sofronova E. A. The Network Operator Method for Synthesis of Intelligent Control System. *Proceedings of the 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*. 2012. P. 169–174.
10. Serhiienko I., Serhiienko S., Zagirnyak M. Improvement of the qualitative characteristics of an automatic control system with a fractional-order PID-controller. *Proceedings of 18th International Conference Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE)*. 2017. P. 1–4. DOI: 10.1109/CPEE.2017.8093062.
11. Prakash J., Jayasurian S. R. Design and Implementation of Fractional-Order Controller for Fractional Order System. *Recent Advancements in System Modelling Applications*. 2013. № 188. P. 319–326.

12. Сукач С. В., Сидоров О. В. Методологічні засади підвищення якості контролю аероіонного складу повітря виробничого середовища. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2016. № 32. С. 127–133.
13. Акіменко В. Я., Харченко С. О. Інженерно-технічне обладнання як потенційне джерело гідроаерозольного забруднення повітря. *Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України: збір. тез доповідей науково-практичної конференції*. 2008. № 8. С. 11–12.
14. Peter Wallner, Michael Kundi, Michael Panny, Peter Tappler, Hans-Peter Hutter. Exposure to Air Ions in Indoor Environments: Experimental Study with Healthy Adults. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2015 (November). Vol. 12 (11). P. 14301–14311. DOI: 10.3390/ijerph121114301.
15. Untersuchungen zum Einfluss von Wandbeschichtungen auf die Ionenzahl und das Verhalten von Partikeln in der Raumluft. URL : [http://www.innenraumanalytik.at/pdfs/fraunhofer\\_ionen.pdf](http://www.innenraumanalytik.at/pdfs/fraunhofer_ionen.pdf). (assessed on 25 August 2015).
16. Толкунов І. О., Попов І. І. Вплив природних джерел аероіонізації на процес формування полів концентрації аероіонів у повітряному середовищі приміщень. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. 2011. Випуск 1(27). С. 243–246.
17. Kolarz P., Gaisberger M., Madl P., Hofmann W., Ritter M., Hartl A. Characterization of ions at Alpine waterfall. *Atmos. Chem. Phys.* 2012. Vol. 12. P. 3687–3697.
18. Ченчева, О. О., Лашко, Є. Є., Резнік, Д. В., Перекрест, А. Л., Божик, М. Д. (2023). Розробка та дослідження функціональних можливостей автоматизованої нечіткої системи керування якістю внутрішнього повітря виробничих приміщень. *Проблеми охорони праці в Україні*, 39(3–4), 36–42.
19. Ченчевой, В., Данова, К., Ченчева, О., Перекрест, А., Григор'єва, Д. (2020). Наукове обґрунтування оптимізації гідроаероіонного складу повітря у громадських приміщеннях для осіб із особливими потребами. *Проблеми охорони праці в Україні*, 36(4), 8–15.
20. Ченчевой В.В., Сукач С.В., Ченчева О.О., Григор'єва Д.С. Дослідження параметрів гідроаероіонного складу повітря робочого приміщення з ультразвуковою іонізацією. *ВІСТІ Донецького гірничого інституту*. No 2 (47), 2020 р., С. 168-173.

Стаття надійшла до редакції 06.03.2024 і прийнята до друку після рецензування 17.07.2024

## REFERENCES

1. Gliva, V. (2011). Doslidzhennya vplivu mikroklimatichnih parametriv povitroobminu na aeroionniy sklad povitrya robochih primischen. *Problemi ohoroni pratsi v Ukraini*, 20, 58–65 [in Ukrainian].
2. Laktionov, I., Vovna, O., Cherevko, O., & Kozlovskaya, T. (2018). Mathematical model for monitoring carbon dioxide concentration in industrial greenhouses. *Agronomy Research*, 16(1), 134–146. <http://dx.doi.org/10.15159/ar.17.074> [in Ukrainian].
3. Nazarenko, V. I., Tereschenko, P. S., & Paliychuk, S. P. (2014). Fiziologo-gigienichna otsinka mikroklimatu suchasnih ofisnih primischen ta adaptatsiyni reaktsiyi organizmu ofisnih pratsivnikiv. *Ukrayinskiy zhurnal z problem meditsini pratsi*, 2, 41–47.
4. Fletcher, L. A., Noakes, C. J., & Sleigh, P. A. (2008). Air ion behavior in ventilated rooms. *Indoor and Built Environment*, 17, 2, 173–183.
5. Laktionov, I., Vovna, O., & Zori, A. (2017). Copncept of low cost computerized measuring system for microclimate parameters of greenhouses. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 23, 4, 668–673.

6. Magnier-Bergeron, L., Derome, D., & Zmeureanu R. (2017). Three-dimensional model of air speed in the secondary zone of displacement ventilation jet. *Building and Environment*, 114, 483–494.
7. Zaporozhets, O. I., Sukach, S. V., Galagan, O. G., & Kozlovska, T. F. (2017). Vznachennya parametriv optimalnoyi komfortnosti u robochoyi zoni primischennya za pokaznikami povitryanogo seredovischa. *Visnik Kremenchutskogo natsionalnogo universitetu imeni Mihayla Ostrogradskogo*, 1(102), 17–21 [in Ukrainian].
8. Chan-oh Min (2011). Control of approach and landing phase for reentry vehicle using fuzzy logic. *Aerospace Science and Technology*, 15, 269–282.
9. Atencia, Villagomez J. M., Diveev, A. I., & Sofronova, E. A. (2012). The Network Operator Method for Synthesis of Intelligent Control System. *Proceedings of the 2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 169–174.
10. Serhiienko, I., Serhiienko, S., & Zagirnyak, M. (2017). Improvement of the qualitative characteristics of an automatic control system with a fractional-order PID-controller. *Proceedings of 18th International Conference Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/CPEE.2017.8093062>
11. Prakash, J., & Jayasurian, S. R. (2013). Design and Implementation of Fractional-Order Controller for Fractional Order System. *Recent Advancements in System Modelling Applications*, 188, 319–326.
12. Sukach, S. V., & Sidorov, O. V. (2016). Metodologichni zasady pidvischennya yakosti kontrolyu aeroionnogo skladu povitrya virobничого seredovischa. *Problemi ohoroni pratsi v Ukrayini*, 32, 127–133 [in Ukrainian].
13. Akimenko, V. Ya., & Harchenko, S. O. (2008). Inzhenerno-tehnichne obladnannya yak potentsiyne dzherelo gidroaerozolnogo zabrudnennya povitrya. *Aktualni pitannya gigiyeni ta ekologichnoyi bezpeki Ukrayini: zbir. tez dopovidey naukovo-praktichnoyi konferentsiyi*, 8, 11–12 [in Ukrainian].
14. Peter Wallner, Michael Kundi, Michael Panny, Peter Tappler, & Hans-Peter Hutter (2015). Exposure to Air Ions in Indoor Environments: Experimental Study with Healthy Adults. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12, 11, 14301–14311. <https://doi.org/10.3390/ijerph121114301>
15. Untersuchungen zum Einfluss von Wandbeschichtungen auf die Ionenzahl und das Verhalten von Partikeln in der Raumluft. Retrieved 2018, 29 July from [http://www.innenraumanalytik.at/pdfs/fraunhofer\\_ionen.pdf](http://www.innenraumanalytik.at/pdfs/fraunhofer_ionen.pdf)
16. Tolkunov, I. O., & Popov, I. I. (2011). Vpliv prirodnih dzherel aeroionizatsiyi na protses formuvannya poliv kontsentratsiyi aeroioniv u povitryanomu seredovischi primischen. *Zbirnik naukovih prats Harkivskogo universitetu Povitryaniv Sil*, 1, 27, 243–246 [in Ukrainian].
17. Kolarz, P., Gaisberger, M., Madl, P., Hofmann, W., Ritter, M., & Hartl A. (2012). Characterization of ions at Alpine waterfalls. *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 3687–3697.
18. Chencheva, O., Lashko, Ye., Rieznik, D., Perekrest, A., & Bozhyk, M. (2023). Development and research of the functional possibilities of the automated fuzzy indoor air quality management system of production premises. *Labour Protection Problems in Ukraine*, 39(3-4), 36–42 [in Ukrainian].
19. Chenchevoi, V., Danova, K., Chencheva, O., Perekrest, A., & Hrigorieva, D. (2020). Scientific substantiation of optimization of hydroaeroine air composition in public premises for persons with special needs. *Labour Protection Problems in Ukraine*, 36(4), 8–15 [in Ukrainian].
20. Chenchevoi, V., Sukach, S., Chencheva, O., & Hrigorieva, D. (2020). Doslidzhennia parametriv hidroionnoho skladu poviatria robochoho prymishchennia z ultrazvukovoiu ionizatsiieiu. *Journal of Donetsk Mining Institute*, 2(74), 168–173 [in Ukrainian].

*The article was received 06.03.2024 and was accepted after revision 17.07.2024*

**Сукач Сергій Володимирович**

доктор технічних наук, завідувач кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Адреса робоча:** вул. Університетська, 20, м. Кременчук, Україна, 39600

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6834-0197> **e-mail:** [sergvs69@ukr.net](mailto:sergvs69@ukr.net)

**Ченчева Ольга Олександрівна**

кандидат технічних наук, доцент кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Адреса робоча:** вул. Університетська, 20, м. Кременчук, Україна, 39600

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5691-7884> **e-mail:** [chenchevaolga@gmail.com](mailto:chenchevaolga@gmail.com)

**Козловська Тетяна Федорівна**

кандидат хімічних наук, голова циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

**Адреса робоча:** вул. Перемоги, 17/16, м. Кременчук, Україна, 39605

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6106-5524> **e-mail:** [kozlovskaya5819@gmail.com](mailto:kozlovskaya5819@gmail.com)

**Лашко Євгеній Євгенович**

кандидат технічних наук, доцент кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Адреса робоча:** вул. Університетська, 20, м. Кременчук, Україна, 39600

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9691-4648> **e-mail:** [evgeny.lashko.lj@gmail.com](mailto:evgeny.lashko.lj@gmail.com)

**Резнік Дмитро Володимирович**

кандидат технічних наук, доцент кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Адреса робоча:** вул. Університетська, 20, м. Кременчук, Україна, 39600

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1258-6136> **e-mail:** [2411dimareznik@gmail.com](mailto:2411dimareznik@gmail.com)

**Ткачук Костянтин Костянтинович**

доктор технічних наук, професор, професор кафедри геоінженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Адреса робоча:** просп. Берестейський, 37, м. Київ, Україна, 03056

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5230-9980> **e-mail:** [kkttkk297@gmail.com](mailto:kkttkk297@gmail.com)