

ІОНІЗАЦІЯ ПОВІТРЯ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

*Левченко О. Г., д.т.н., проф., зав. каф. ОППЦБ КПІ ім. Ігоря Сікорського;
Полукаров Ю. О., к.т.н., доц., Ільчук О. С., к.т.н., доц. (каф. ОППЦБ КПІ ім. Ігоря
Сікорського)*

Анотація. Наведено літературні дані про іонізацію повітря як одного із шкідливих факторів, що виникає під час електродугового зварювання. Показано, що ручне електродугове зварювання покритими електродами та напівавтоматичне зварювання у вуглекислому газі плавким електродом супроводжується утворенням високих концентрацій іонів у зоні дихання зварника. Наведено рекомендації з нормалізації іонного складу повітря.

Ключові слова: дугове зварювання, іонізація повітря, показники іонізації, нормативи, нормалізація складу повітря.

Abstract. Literature data on air ionization as one of the harmful factors arising during electric arc welding are given. It is shown that manual electric arc welding with coated electrodes and semi-automatic welding in carbon dioxide with a fusible electrode is accompanied by the formation of high concentrations of ions in the welder's breathing zone. Recommendations for normalization of the ionic composition of air are given.

Keywords: arc welding, air ionization, ionization indicators, standards, normalization of air composition.

Іонний склад повітря [1] відноситься до групи фізичних факторів виробничого середовища і, разом з такими факторами як температура, вологість та іншими, є одним з основних параметрів, що характеризують умови виробничого середовища і визначають самопочуття і здоров'я працюючого, його працездатність тощо.

У результаті іонізації газів, що входять до складу повітряного середовища (особливо дією на них зварювальної дуги), утворюються первинні (молекулярні) іони і стійкі комплекси з 10-15 молекул – легкі іони. Шляхом приєднання легких іонів до частинок аерозолу утворюються більш великі – важкі іони. Як правило, кожен іон несе один елементарний заряд, тому за одиницю вимірювання концентрації іонів у повітрі приймається ел.зар.см⁻³. Середній радіус легкого іона складає близько 10⁻³ мкм, важкого – 0,4 мкм.

Важливою якісною характеристикою іонів [2] є рухливість r , що чисельно дорівнює середній швидкості іона в електричному полі одиничної напруженості. Під концентрацією легких іонів мають на увазі іони з рухливістю більше 10⁻¹см² В⁻¹ с⁻¹, важких – іони з рухливістю від 10⁻³ до 10⁻¹ см² В⁻¹ с⁻¹. Іони з рухливістю менш 10⁻³ см² В⁻¹ с⁻¹ відносяться до високодисперсних електроаерозолів (ВДЕА).

Іони в повітрі виробничих приміщень можуть утворюватися внаслідок природної, технологічної та штучної іонізації.

Природна іонізація повітря у виробничих приміщеннях визначається іонізуючою здатністю радіоактивного випромінювання елементів, що утримуються в повітрі і матеріалах, з яких виконане виробниче устаткування і стіни приміщення. Інтенсивність q природного іоноутворення на відкритому повітрі складає 1-12 пар іонів в 1 см^3 за 1 с. Середня концентрація аероіонів при цьому складає $0,4 \cdot 10^3 - 2,8 \cdot 10^3$ пар іонів в 1 см^3 . У приміщеннях величина q може змінюватися від 0,4 до 1 пари іонів в 1 см^3 за 1 с. Відповідно середня концентрація в приміщеннях зменшується до $0,4 \cdot 10^3$ пар іонів в 1 см^3 і нижче.

Технологічна іонізація відбувається в результаті впливу на повітряне середовище радіоактивного, рентгенівського та ультрафіолетового випромінювань, термоемісії, фотоэффекта й інших іонізуючих факторів, обумовлених технологічними процесами. Для електродугового зварювання такими факторами є ультрафіолетове випромінювання та термоемісія. Іони, що утворилися при цьому, поширюються, переважно, в безпосередній близькості від зварювальної дуги.

Разом з тим, в повітря побутових та виробничих приміщеннях інколи створюються умови з недостатньою концентрацією іонів. В такому разі повинна здійснюватись штучна іонізація повітря. Вона здійснюється спеціальними пристроями – аероіонізаторами. Аероіонізатори забезпечують в обмеженому обсязі повітряного середовища заданий ступінь іонізованості повітряного середовища, що визначається кількістю іонів кожної полярності в одному кубічному сантиметрі повітря (концентрацією іонів, см^{-3}).

Поряд з утворенням іонів відбувається їх безперервне зникання. Факторами, що визначають зникання легких іонів, є: рекомбінація двох легких іонів різних полярностей; адсорбція легких іонів на незаряджених ядрах конденсації; рекомбінація легких і важких іонів із зарядами протилежних знаків та ін.

У залежності від співвідношення процесів іонізації і деіонізації установлюється певний ступінь іонізованості повітря. При врахуванні лише одного процесу деіонізації, а саме рекомбінації легких іонів (що справедливо для невентильованих приміщень з незначною запиленістю повітря) середня стала концентрація легких іонів визначається виразом:

$$n = A \cdot \sqrt{\frac{q}{\alpha}}, \quad (1)$$

де q – інтенсивність іоноутворення, $\text{см}^{-3} \text{ с}^{-1}$; α – коефіцієнт рекомбінації, що дорівнює $1,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$; A – емпіричний коефіцієнт пропорційності, який дорівнює 0,75.

Під концентрацією важких іонів, вираженою у см^{-3} , варто розуміти кількість елементарних зарядів в 1 см^3 , носіями яких є важкі іони. Заряд одного важкого іона може складати від декількох десятків до сотень елементарних зарядів. Так, за експериментальними даними, концентрації важких іонів (фонові значення) до початку робочої зміни в металообробних цехах в середньому складала $2,1 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$, а в складальних $1,1 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$. Таким чином, концентрації

важких іонів у зоні дихання працівників знаходилися в допустимих межах, за винятком зварювальних ділянок, де виконувалось зварювання. Концентрація легких іонів скрізь, за винятком зварювальних ділянок, складала від 30 до 300 см⁻³. Тому, ділянки металообробних і складальних цехів, що характеризуються переважно зниженим рівнем іонізації повітря і відповідно несприятливими умовами праці, відносяться до класу приміщень з аероіонною недостатністю. Зварювальні ж ділянки в складальних цехах характеризуються підвищеним рівнем іонізації. Так, на складально-зварювальній ділянці металообробних цехів концентрація важких позитивних іонів складала 4,5·10⁴, а негативних – 3,5·10⁴ (фонові значення за відсутності процесу зварювання становить 1,2·10³ і 1,0·10³, відповідно) [2].

Дані про концентрації іонів безпосередньо у зоні дихання зварника наведено в таблиці 1. Вони свідчать про те, що за цим небезпечним та шкідливим виробничим фактором умови праці зварників значно гірші у порівнянні з іншими професіями.

Таблиця 1

Концентрації іонів у зоні дихання зварника

Вид зварювання	Концентрація легких іонів, см ⁻³		Концентрація важких іонів, см ⁻³	
	n^-	n^+	N^-	N^+
Ручне електродугове зварювання покритими електродами УОНИ-13/45	6,0·10 ³	1,5·10 ²	3,0·10 ⁴	2,0·10 ⁴
Напівавтоматичне ручне зварювання в СО ₂ плавким електродом	9,0·10 ³	10 ³	6,0·10 ⁴	5,0·10 ⁴

За результатами вимірювань розраховується показник полярності. Показником полярності Π називається відношення різниці числа іонів позитивної n^+ і негативної n^- полярності до їх суми, тобто

$$\Pi = \frac{n^+ - n^-}{n^+ + n^-}. \quad (2)$$

Мінімально необхідний і максимально допустимий рівні визначають інтервал концентрацій іонів у повітрі, що вдихається, відхилення від якого створює загрозу здоров'ю людини.

Інші показники стану повітряного середовища в приміщеннях з штучною іонізацією повинні відповідати вимогам гігієнічних регламентів хімічних речовин у повітрі робочої зони [4]. При цьому повинні бути дотримані гранично допустимі концентрації таких газів, як озон та оксиди азоту, що

утворюються в повітрі робочої зони під час зварювання і несуть на собі електричний заряд.

Нормативні рівні іонізації і відповідні концентрації легких іонів у повітрі виробничих приміщень регламентовано санітарно-гігієнічними нормами ДНАОП 0.03-3.06-80 [3]. Рекомендації щодо нормалізації іонного складу повітря наведено в таблиці 2.

Дослідження медико-біологічної дії іонів на організм людини і нормативні вимоги щодо визначення сприятливого іонного складу в повітряному середовищі дають можливість дотримуватись необхідних концентрацій іонів у приміщенні шляхом використання сучасних технічних засобів (штучної іонізації, вентиляції, кондиціонування).

Таблиця 2

Нормативні величини іонізації повітряного середовища у виробничих і громадських приміщеннях

Рівень іонізації	Число іонів в 1 см ³ повітря		П
	n^+	n^-	
Мінімально необхідний	400	600	-0,2
Оптимальний	1500-	3000-	від -0,5 до 0
Максимально допустимий	3000	5000	від -0,05 до +0,05
	50000	50000	

Нормалізація іонного складу повітря

Засоби нормалізації іонного режиму повітряного середовища необхідно застосовувати в тих приміщеннях, у яких умови перебування людей не задовольняють нормативним вимогам.

У випадку недостатньої іонізації повітря основними способами нормалізації іонного складу мають бути такі [2]:

- штучна іонізація повітря безпосередньо в приміщеннях;
 - подача штучно іонізованого повітря в приміщення;
 - подача чистого, природно іонізованого, зовнішнього повітря в приміщення;
 - перенесення робочого місця з зони з несприятливим рівнем іонізації.
- У випадку підвищеної іонізації необхідно застосовувати інші заходи:
- локалізація шкідливих іонних утворень;
 - штучна уніполярна іонізація повітря при наявності технологічного джерела уніполярного іоноутворення;
 - застосування засобів індивідуального захисту органів дихання;
 - перенесення робочого місця з зони з несприятливим рівнем іонізації.

Штучна іонізація повітря у приміщеннях відповідно з нормами ДНАОП 0.03-3.06-80 [3] здійснюється:

- переносними або портативними аероіонізаторами (для приміщень малого об'єму або окремих робочих місць);
- стаціонарними аероіонізаторами (для приміщень малого і середнього об'єму з великою кількістю робочих місць).

Установка аероіонізаторів в залежності від особливостей робочих місць виконується таким чином, щоб концентрації іонів у зоні дихання робітників відповідали оптимальним (табл. 2).

Подавання штучно іонізованого повітря в приміщення здійснюється за допомогою аероіонізаторів, вбудованих у систему припливної вентиляції або кондиціонування. Економічно найбільш виправданою є установка аероіонізаторів безпосередньо перед або в повітродозподільних пристроях з поворотною насадкою, що дозволяє в процесі експлуатації змінювати кут нахилу припливного струменя іонізованого повітря для зосередженої подачі його у зону дихання.

Подавання чистого природно іонізованого зовнішнього повітря в приміщення здійснюється:

- природним провітрюванням приміщень;
- системами припливно-витяжної вентиляції, кондиціонування та аерації.

Зазначений спосіб, який забезпечує оптимальні концентрації іонів у зоні дихання, економічно найбільш вигідний, тому що дозволяє використовувати вже наявні засоби або вимагає мінімальних витрат. Але, як правило, цим способом забезпечується лише мінімально необхідний рівень іонізації повітря і, тим самим, вдається частково поліпшити умови праці.

Для локалізації шкідливих іонних утворень існують різні установки, але в складально-зварювальних цехах, підвищена іонізація спостерігається лише на робочих місцях зварників. Тому найбільш ефективним є застосування місцевих відсмоктувачів, параметри яких треба розраховувати.

Уніполярна штучна іонізація повітря також здійснюється аероіонізаторами. При цьому знак аероіонів має бути протилежним знакові іонів, утворених технологічним джерелом.

Застосування засобів індивідуального захисту органів дихання особливо ефективно для зменшення концентрацій легких іонів до ГДК і зниження концентрації важких іонів.

При застосуванні будь-яких вентиляційних систем необхідно враховувати [2], що під час переміщення повітря, яке містить іони, відбувається природне зменшення концентрації іонів за рахунок рекомбінації, яка може бути розрахована за формулою:

$$n_L^\pm = \pm \frac{\Delta n_0}{\phi_0^\pm \cdot e^{\pm \alpha \cdot \Delta n_0 \cdot L / v} - 1}, \quad (3)$$

де n_0^\pm – початкова концентрація легких іонів, см^{-3} ; n_L^\pm – концентрація легких іонів на виході системи, довжиною L , см^{-3} ; α – коефіцієнт рекомбінації, який дорівнює $1,6 \cdot 10^{-6} \text{см}^3/\text{с}$; v – швидкість переміщення повітря, $\text{см}/\text{с}$.

$$\Delta n_0 = n_0^+ - n_0^-; \quad \varphi_0^\pm = \frac{n_0^\mp}{n_0^\pm}. \quad (4, 5)$$

Таким чином, чим менша довжина системи та початкова концентрація іонів і більша швидкість переміщення повітря, тим менші природні втрати іонів у повітроводах.

Необхідно також враховувати, що при проходженні іонізованого повітря через вентиляційну систему відбувається зміна співвідношення негативних і позитивних іонів, тобто коефіцієнта уніполярності φ і показника полярності Π , границі зміни яких лімітуються нормами (див. табл. 2).

Для запобігання цього явища рекомендується:

- скоротити до мінімуму шлях, що проходить іонізоване повітря по вентсистемах;
- використовувати для виготовлення повітроводів слабоелектризуючі матеріали: буксолитові, дерев'яні та інші;
- враховувати, що металеві повітроводи приводять до переважного зменшення концентрації легких негативних іонів.

Для розрахунку параметрів припливно-витяжної вентиляційної системи рекомендується користуватися наступною формулою, що зв'язує кратність повітрообміну K з концентрацією легких іонів n_0^\pm на виході з повітродозподільного пристрою:

$$K = \frac{\alpha \cdot n_{\text{вид}}^2 - q}{n_0 - n_{\text{вид}}}, \quad (6)$$

де α – коефіцієнт рекомбінації; $n_{\text{вид}}$ – концентрація легких іонів на вході витяжної вентсистеми; q – інтенсивність (природного) іоноутворення в приміщенні.

Концентрація іонів у повітрі, що видаляються витяжними системами, повинна бути $n_{\text{вид}}^- = 3000 \text{ см}^{-3}$; $n_{\text{вид}}^+ = 1500 \text{ см}^{-3}$.

Кратність повітрообміну K зв'язана з обсягом приміщення і параметрами вентиляційної системи співвідношенням:

$$K = \frac{v \cdot F}{V}, \quad (7)$$

де v – швидкість переміщення повітря, м/с; F – сумарна площа перетину повітроводів, м²; V – об'єм приміщення, м³.

Сумарну площу перетину повітроводів знаходимо з формули:

$$F = \frac{K \cdot V}{v} = 14 \text{ м}^2. \quad (8)$$

Повітря доцільно подавати по повітроводах перерізом $0,65 \times 0,65$ м кожний.

Для розрахунку параметрів місцевого відсмоктування у випадку підвищеної іонізації повітря в зоні дихання рекомендується користуватися формулою:

$$\omega = \frac{q}{n_{\min}} \Delta V, \quad (9)$$

де ω – кількість повітря, що видаляється місцевими відсмоктувачами, $\text{см}^{-3}\text{с}^{-1}$; q – інтенсивність іоноутворення технологічного джерела іонізації повітря, $\text{см}^{-3}\text{с}^{-1}$; n_{\min} – величина, до якої необхідно знизити концентрацію іонів у зоні дихання, см^{-3} ; ΔV – об'єм, у якому відбувається технологічна іонізація повітря, що включає в себе зону дихання, см^3 .

Контроль за рівнем іонізації повітря

Вимірювання концентрації іонів (у порядку поточного нагляду) рекомендується робити один раз на квартал згідно з санітарно-гігієнічними нормами [3], а також у випадках:

- впровадження нових технологічних процесів, що потенційно можуть змінити іонний режим у зоні дихання працівників;
- організації нових робочих місць;
- установки нових або відремонтованих іонізаторів;
- зміни параметрів вентиляційних систем;
- організації додаткового припливу або витяжки вентиляційного повітря.

Контроль за рівнем іонізації повітря в приміщеннях необхідно здійснювати як безпосередньо у зоні дихання на робочих місцях, так і на виході повітродозподільних пристроїв.

Систематичний контроль за рівнем іонізації й ефективну нормалізацію іонного складу повітря можна також здійснювати за допомогою пристроїв автоматичного регулювання іонного режиму повітряного середовища, що складаються з аероіонізатора, датчика і блоку автоматичного керування.

Рівень іонізації повітряного середовища рекомендується визначати аспіраційними лічильниками іонів ИК-ОТИ, АСИ-1, САИ-ТГУ та ін. Під час вимірювання концентрації іонів у повітряних потоках, аспіраційна вісь лічильника повинна розташовуватися під прямим кутом (90°) до напрямку руху повітряного потоку. У випадку наявності технологічного джерела іонізації, аспіраційна вісь лічильника повинна розташовуватися під прямим кутом (90°) до напрямку на джерело іонізації. Визначення концентрації іонів від технологічних або штучних джерел іонізації необхідно починати з віддалених точок на максимальному діапазоні вимірювань, поступово скорочуючи відстань від лічильника до джерела іонізації. Обробку результатів вимірювань концентрації іонів рекомендується робити враховуючи дані відносної вологості, температури й запиленості повітря. При оформленні протоколів результатів вимірювання концентрації іонів необхідно зазначити кратність повітрообміну в приміщенні.

Література

1. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. – К.: Основа, 2010. – 240 с.
2. Методические рекомендации по нормализации ионного состава воздушной среды в производственных помещениях металлообрабатывающих и сборочных цехов. – Тбилиси: ВНИИОТ ВЦСПС, 1982. – 18 с.
3. ДНАОП 0.03-3.06-80. Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень.
4. Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони № 1596 від 14.07.2020 р.