

В. А. Глива¹, О. М. Тихенко², С. В. Зозуля², О. О. Козлітін²

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

² Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИХ ПОЛІВ НА КОНЦЕНТРАЦІЇ АЕРОІОНІВ НА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ РОБОЧИХ МІСЦЯХ

Анотація. В статті наведено результати вимірювань концентрацій іонів та напруженості електростатичних полів на комп'ютеризованих робочих місцях. Виявлено пряму залежність концентрацій іонів від рівнів електростатичних полів. Визначено залежності концентрацій іонів від відстані до комп'ютера. Результати натурних вимірювань свідчать, що, не зважаючи на допустимі рівні напруженості електростатичних полів, електростатичне поле комп'ютера та іншого обладнання істотно впливає на концентрації іонів. Суттєвим чинником електризації поверхонь є також крісло оператора та випадкові тертя полімерних поверхонь, які періодично здійснюються користувачем і є невідворотними для будь-якої сидячої роботи. Зв'язок концентрацій аероіонів з електростатичними полями експериментально підтверджується зниженням концентрацій аероіонів знаку протилежного знаку електростатичного заряду. В результаті досліджень встановлено, що знак електростатичного заряду є непередбачуваним. Він визначається трибоелектричним ефектом внаслідок контакту різнорідних полімерних матеріалів, які генерують знаки зарядів, що обумовлюються контактною парою. Тобто, у процесі проектування заходів безпеки необхідно попередньо визначити можливі ступені електризації полімерних покриттів.

Ключові слова: іони, електростатичне поле, деіонізація, оператор.

Вступ

Фізико-хімічні властивості повітря, зокрема, концентрація іонів у повітрі, є одними із основних показників якості виробничого середовища. Якщо концентрації не відповідають нормам, то умови праці відносять до класу 3.1 за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища [1]. У сучасних виробничих процесах досить широко використовуються комп'ютери, повітря навколо яких, згідно даних [2-10] характеризується наднизькими концентраціями іонів, які нижчі за мінімально необхідний рівень. Відповідно, нормалізація іонного складу повітря робочих приміщень є актуальним науковим завданням.

Для вирішення завдань з нормалізації концентрацій іонів можна застосувати два підходи. Перший – класичний, полягає у застосуванні іонізаторів повітря або ж встановленні припливно-витяжної системи вентиляції. Але застосування таких заходів не завжди є можливим у виробничих умовах. А подекуди, навіть, не дає позитивних результатів для вирішення проблеми. Другий підхід полягає в мінімізації впливу факторів деіонізації повітря. Інформація про застосування цього підходу практично відсутня в науковій літературі, однак пропонується авторами, оскільки дає можливість нормалізувати концентрації іонів без витрат на встановлення спеціального обладнання.

Для мінімізації впливу деіонізуючих факторів, головною задачею є виділення основних чинників деіонізації та визначення їх питомої ваги у процесах деіонізації. До відомих чинників деіонізації повітря у приміщенні належать високі концентрації дрібнодисперсного пилу, аерозолів у повітрі, фактори життєдіяльності людини та електростатичні заряди. Сутність завдання полягає у визначенні внеску кожного з них у динаміку концентрацій іонів.

Аналіз літературних джерел. У низці робіт [2-10] наведено численні дані щодо результатів вимі-

рювань концентрацій іонів у комп'ютеризованих виробничих приміщеннях, які свідчать про невідповідність концентрацій іонів мінімально необхідному рівню. У деяких роботах причиною цих невідповідностей визначене електростатичне поле моніторів комп'ютерів [2, 6, 7]. Але при цьому не наводиться вагомої аргументації, що саме ці чинники стали причиною деіонізації. У деяких інших роботах [3-5, 8, 9] наводяться виключно дані моніторингу без аналізу причин, які спричинили деіонізацію повітря.

Дослідження [10] свідчать, що в деяких випадках є вплив зовнішнього повітря (особливо це стосується урбанізованих територій), що внаслідок високої концентрації аерозолів є повністю деіонізованим і при повітрообміні у приміщенні (внаслідок провітрювання) знижує концентрації іонів до нульових. Встановлено, що вплив комп'ютерної техніки на деіонізацію повітря в приміщенні значно менший за вплив зовнішнього повітря, яке є деіонізованим [10]. Тривале перебування оператора за комп'ютером призводить до зниження концентрацій іонів. Згідно класичної роботи О. Л. Чижевського причиною цього є утворення аерозолів у повітрі, яке видихається оператором. Проте, як показали дослідження [11], причиною є не дихання операторів, а осідання іонів на поверхні одягу, меблів або обладнання. тіла та одягом людини. Аргументом щодо цього висновку є результати моніторингу концентрацій іонів у зоні дихання оператора та у просторі поблизу оператора, у місцях, куди надходить повітря, що видихав оператор. За результатами досліджень встановлено відсутність різниці між цими концентраціями. Системні дослідження впливу користувача комп'ютера на концентрації іонів, свідчать, що різниця між концентраціями при наявності та за відсутності оператора за комп'ютером відрізнялася в межах похибки вимірювань. Зниження концентрацій негативних іонів за присутності оператора за комп'ютером, порівняно з вихідними кон-

центраціями, що були до початку його роботи на комп'ютері, було незначним (до 60 іонів/куб. см). Більш значним було зниження концентрацій позитивних аероіонів (до 100 іонів/см³).

Встановлено динаміку зміни концентрацій аероіонів при працюючому комп'ютері за відсутності оператора та до увімкнення. Результати досліджень свідчать, що робота комп'ютера призвела до зниження концентрацій позитивних легких іонів (до 200 іонів/см³). Наведені факти свідчать про можливість припущення, що електростатичні заряди є причиною зниження концентрації позитивних іонів. Яким належить провідна роль у деіонізації повітря при дослідженні впливу оператора на іони. Наведене вище дозволяє дійти висновку, що електростатичні заряди як чинник деіонізації повітря потребують додаткового дослідження з метою визначення його питомої ваги у загальній деіонізації повітря при роботі оператора.

Мета та завдання дослідження. Мета – дослідження динаміки концентрації аероіонів під впливом електростатичних зарядів, які виникають у процесі роботи оператора. Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

- виконати вимірювання концентрацій іонів на робочому місці оператора за різних виробничих умов (вимкненого електрообладнання в приміщенні, увімкнених стаціонарних комп'ютерів);
- виміряти напруженості електростатичних полів поверхневих зарядів потенційних джерел деіонізації;
- виконати вимірювання концентрацій іонів на різних відстанях від комп'ютера.

Викладення основного матеріалу

Дослідження проводилися у виробничому приміщенні, розташованому на 6-ому поверсі промислової будівлі (8 × 9 × 3,5 м). У приміщенні відсутні системами припливної вентиляції та кондиціонування. В період вимірювань природна вентиляція була відсутня, повітря надходило у приміщення внаслідок

інфільтрації. Дослідження проводилося за відсутності людей та у неробочий час. В приміщенні були присутній лише дослідник, який фіксував результати вимірювань. Вимірювання концентрацій іонів здійснювалось з використанням «Сапфір-3к» та проводилося відповідно до інструкції з експлуатації приладу. Вимірювання здійснювались в зоні дихання оператора, на висоті 20 см над робочою поверхнею. Вимірювання напруженості електростатичного поля виконували з використанням вимірювача електростатичних зарядів «ІЕЗ-П» відповідно до паспорту приладу. Одночасно із вимірюванням концентрацій іонів проводились вимірювання потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання (0,13 мкЗв/год) за допомогою дозиметра. Дослідження проводились упродовж двох днів.

Результати досліджень. Одночасно вимірювалися концентрації іонів та напруженості електростатичного поля (E) на робочому місці оператора та обладнання, яке знаходилося поряд. Результати вимірювань наведені в таблиці 1. Встановлено, що напруженість електростатичного поля на кріслі була різною в різних точках крісла: на сидінні – від 4 до 16 кВ/м, на спинці – від 2 до 4 кВ/м. Розташовані поряд монітор, принтер та БФП, генерували значне електростатичне поле. Найбільший внесок у формування якого вносив багатофункціональний пристрій.

Напруженість загального електростатичного поля на відстані 2 м від робочого місця оператора з боку комп'ютера та багатофункціонального пристрою складала 4 кВ/м (знак заряду - позитивний).

Результати досліджень динаміки концентрацій іонів на кожній стадії експерименту разом із характеристиками електростатичних полів наведено у табл. 2.

В результаті незалежно проведених вимірювань на відстані 30 см від крісла оператора були отримані такі концентрації іонів (негативні – 440 іонів/см³, позитивні – 290 іонів/см³). Встановлено пряму залежність між концентраціями іонів та відстанню до комп'ютера (рис. 1).

Таблиця 1 – Результати досліджень напруженостей електростатичних полів

Об'єкт дослідження	Напруженість електростатичного поля, кВ/м (відстань від об'єкту дослідження, см)	Знак заряду
Робоча поверхня (без комп'ютера)	0 (1)	
Дисплей	4 (1)	+
Клавіатура	9 (1); 4,7 (2); 4 (3)	-
Спинка крісла (після сидіння на кріслі користувача)	2-4 (1)	-
Сидіння крісла (після сидіння на кріслі користувача)	≈ 6,5 (1)	-
Принтер (був під'єднаний до мережі електроживлення, але не використовувався; розташований поряд з монітором)	4 (1)	-
Монітор комп'ютера		
Задня стінка	4 (1)	-
Верхня стінка	60 (1); 50 (3); 28 (5); 18 (7); 12 (10); 10 (15); 8 (20); 7,2 (25); 7,2 (30)	+
Багатофункціональний пристрій, (був під'єднаний до мережі електроживлення, але не використовувався; розташований поряд з монітором, але ближче до робочого столу, ніж сам монітор)		
Верхня кришка	9,2 (1); 9,2 (3); 12,5 (5); 16,8 (7); 14 (10); 13,6 (15); 11,2 (20); 11,2 (25); 10 (30)	+
Бічна стінка (зі сторони оператора)	8,8 (1); 10,4 (3); 10,8 (5); 9,2 (7); 8,4 (10); 6,4 (15); 4,4 (20); 4 (25); 4 (30)	+

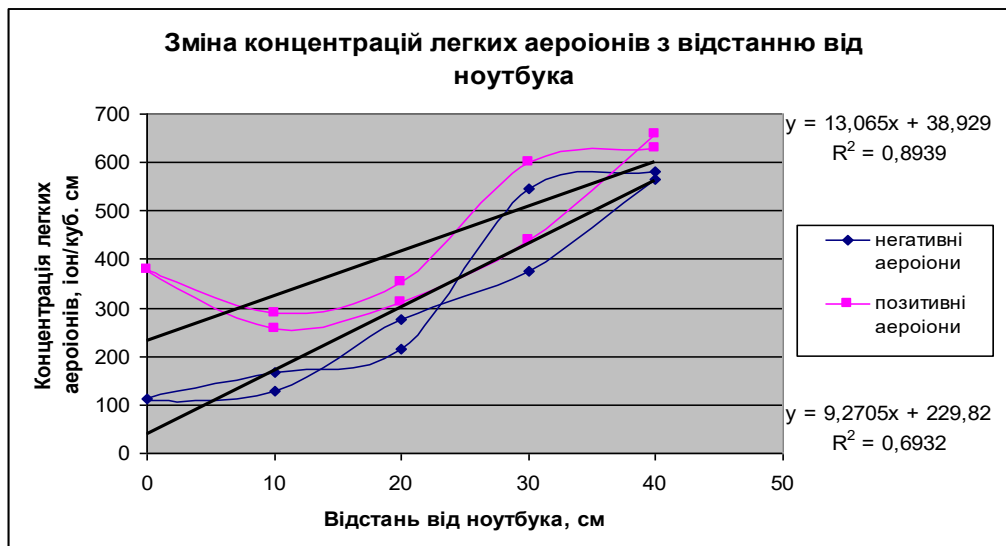


Рис. 1. Динаміка концентрацій іонів поблизу комп'ютера

Вихідні концентрації іонів у виробничому приміщенні, виміряні за вимкненого електричного обладнання, були більшими за мінімально необхідні значення. Показник полярності був притаманний природним концентраціям іонів, але ці концентрації були значно нижчими за оптимальні значення, встановлені нормативними документами. Напруженості полів електростатичних зарядів не перевищу-

вали гранично допустимого рівня. Також було встановлено, що при увімкненні обладнання (монітора комп'ютера, принтера та багатофункціонального пристрою) в електромережу, яке було розташоване на відстанях 2,5–3,0 м від контрольного робочого місця, спостерігалось зниження концентрацій іонів. При цьому переважно знижувалися концентрації негативних іонів.

Таблиця 2 – Результати досліджень концентрацій іонів на робочому місці оператора

Умови проведення досліджень	Концентрація іонів (різниця із попередньою концентрацією), іон/куб. см		Показник полярності, П	Коротка характеристика електростатичних полів
	негативні	позитивні		
Усі прилади в приміщенні вимкнені, результати вимірювання реєструвалися в паперовому журналі, на робочому столі встановлений лише лічильник аероіонів	910	1000	0,05	Е полів у приміщенні = 0
На відстані 3 м від робочого місця ввімкнено в електромережу комп'ютер (разом з принтером та багатофункціональним пристроєм) для реєстрації показів на окремому столі розташований лічильник аероіонів	770	890	0,07	На відстані 2,5-3 м від робочого столу – сильне електростатичне поле монітору та БФП (знак заряду +)
На відстані 3 м від робочого місця ввімкнені в електромережу комп'ютер (разом з принтером та багатофункціональним пристроєм) для реєстрації даних, на робочому столі розташовані ноутбук та лічильник аероіонів	520	800	0,2	До електростатичного поля монітору та багатофункціонального пристрою додається вплив поля дисплея та клавіатури ноутбуку
На відстані 3 м від робочого місця працює комп'ютер (разом з принтером та багатофункціональним пристроєм), оператор працює за ноутбуком	420	390	-0,04	До вказаних вище електростатичних полів додається поля, які генеруються на кріслі оператора (знак заряду негативний)

Це було обумовлено впливом електростатичного поля увімкненого обладнання, поверхневий заряд якого був позитивний.

Підключений до електромережі комп'ютер був причиною поступового зниження концентрацій, причому у більшості негативних іонів через вплив елек-

тростатичного поля (з позитивними зарядами) дисплею комп'ютера, який перебував ближче до зони дихання оператора, ніж клавіатура.

Електростатичне поле клавіатури певним чином також вплинуло на зниження концентрацій позитивних аероіонів.

Висновки

1. У контрольному приміщенні, за умови відсутності деіонізації повітря технічними засобами концентрації іонів обох полярностей у відповідають мінімально допустимим значенням. Для підтримання цього показника на нормативному рівні необхідно тільки мінімізувати вплив чинників деіонізації повітря. При цьому можна не застосовувати аероіонізуюче обладнання. Для досягнення оптимальних концентрацій аероіонів таке обладнання застосовувати необхідно.

2. За результатами виконаних досліджень встановлено, що не дивлячись на відповідність напруженості електростатичних полів чинним нормативним актам електростатичні поля поверхневих зарядів, які накопичуються на полімерних поверхнях комп'ютерів та іншого устаткування змінюють кон-

центрації іонів. Критичним джерелом електростатичного поля є поверхня крісла оператора, виготовлена із синтетичного матеріалу. Ці заряди виникають внаслідок трибоелектричного ефекту через випадкові рухи оператора (тобто, ковзання матеріалу одягу по поверхні). Прямий зв'язок концентрацій аероіонів з напруженостями електростатичних полів підтверджується переважним зниженням концентрацій аероіонів полярності, яка протилежна знаку поверхневого заряду.

3. Перспективою подальших досліджень є розроблення заходів зі зниження генерації електростатичних полів, які деіонізують повітря. Доцільно розглянути методологію нейтралізації поверхневих електростатичних зарядів за допомогою підвищення концентрацій аероіонів потрібної полярності. Це можливо реалізувати за рахунок застосування біполярного іонізатора повітря з керованою переважною полярністю генерації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСНтаП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затв. наказом МОЗ України від 8.04.2014 р № 248.
2. Ahmad I., Sattar Ab., Nawaz Al. Occupational health and safety in industries in developing world. *Gomal Journal of Medical Sciences*. 2016. Vol. 14. 223–228.
3. Глива В. А., Ніколаєв К. Д., Тихенко О. М., Тимошенко О. П. Дослідження рівнів фізичних факторів у приміщеннях диспетчерських служб аеропортів цивільної авіації. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава, 2019. Вип. 1(53). С. 32–35.
4. Wallner P., Kundi M., Panny M., Tappler P., Hutter H.-P. Exposure to Air Ions in Indoor Environments: Experimental Study with Healthy Adults *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2015. Vol. 12, Issue 11. P. 14301–14311. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph121114301>
5. Терещенко П. С. Гігієнічна оцінка фізичних факторів в сучасних офісних приміщеннях. *Гігієна населених місць*. 2011. № 57. С. 216–219.
6. Глива В.А., Левченко Л.О., Тихенко О.М. Методи визначення концентрацій аероіонів у приміщеннях та моделювання їх змін. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. Вип. 4 (50). С. 157–160.
7. Magnier-Bergeron L., Derome D., Zmeureanu R. Three-dimensional model of air speed in the secondary zone of displacement ventilation jet. *Building and Environment*. 2017. Vol. 114. P. 483–494. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.101603>
8. Панова О. В., Левченко Л. О., Теслицький І. А. Дослідження аероіонізації повітря у приміщеннях з експлуатації комп'ютерної техніки. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»*. 2021. Т. 4 № 164. С.215–219.
9. Ченчевой В., Данова К., Ченчева О., Перекрест А., Григор'єва Д. Наукове обґрунтування оптимізації складу гідроаероіонізації в громадських приміщеннях для осіб з особливими потребами. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2020. 36 (4), 8–15. <https://doi.org/10.36804/ndipbop.36-4.2020.8-15>
10. Глива В. А., Левченко Л. О., Панова О. В., Тихенко О. М. Вплив мікрокліматичних параметрів на аероіонізацію повітря виробничого середовища. *«Містобудування та територіальне планування»*. 2018. Вип. № 68, С. 108–116.
11. Ченчевой В. В., Сукач С. В., Ченчева О. О., Федорова Н. С., Григор'єва Д. С. Дослідження параметрів гідроаероіонізації повітря робочого приміщення з ультразвуковою іонізацією. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2020. Вип. № 2(47). С. 168–174. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-2-168-175>

Received (Надійшла) 10.04.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 07.06.2023

Study of the influence of electrostatic fields on the concentration of aeroions at computerized workplaces

Valentyn Glyva, Oksana Tykhenko, Sergey Zozulya, Oleksii Kozlitin

Abstract. The article presents the results of measurements of ion concentrations and electrostatic field strengths at computerized workplaces. A direct dependence of ion concentrations on the levels of electrostatic fields was revealed. The dependence of ion concentrations on the distance to the computer was determined. The results of field measurements show that, regardless of the permissible levels of electrostatic field intensity, the electrostatic field of the computer and other equipment significantly affects the concentration of ions. A significant factor in the electrification of surfaces is also the operator's chair and accidental friction of polymer surfaces, which are periodically carried out by the user and are inevitable for any sedentary work. The connection of aeroion concentrations with electrostatic fields is experimentally confirmed by a decrease in aeroion concentrations of the opposite sign of the electrostatic charge. As a result of research, it was established that the sign of the electrostatic charge is unpredictable. It is determined by the triboelectric effect as a result of the contact of dissimilar polymer materials that generate charge signs determined by the contact pair. That is, in the process of designing safety measures, it is necessary to determine in advance the possible degrees of electrification of polymer coatings.

Keywords: ions, electrostatic field, deionization, operator.