УДК 628.5/8:614.7 **DOI 10.33042/2522-1809-2021-4-164-215-219**

О.В. Панова[1], Л.О. Левченко[2], І.А. Теслицький[3]

[1]*Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна*
[2]*Національний технічний університет "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Україна*
[3]*Слов'янська загальноосвітня школа І–ІІІ ступенів № 18 Слов'янської міської ради Донецької області, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕННЯХ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ

Показано, що усі відомі дослідження щодо впливу засобів обчислювальної техніки на концентрації аероіонів обох знаків виконані для приміщень, де експлуатуються стаціонарні комп'ютери. У роботі обґрунтована доцільність проведення досліджень з використанням переносного комп'ютера. Показано, що ввімкнений комп'ютер деіонізує повітря, причому переважно за однією полярністю. Встановлено, що це є наслідком електризації полімерних поверхонь. Причиною електризації є трибоелектричні явища, у тому числі спрямований рух сухого повітря від вентилятора охолодження процесора. Додаткову електризацію (і у наслідку – деіонізацію повітря) дає присутність користувача. Підтвердженням причини деіонізації є повільне відновлення концентрації аероіонів після вмикання комп'ютера до певної нейтралізації поверхневих зарядів. Встановлено залежності зміни концентрацій аероіонів від відстані до джерела електричного поля. За його напруженості біля 5 кВ/м за розмірів 1,0×1,0 м критична відстань 1,2-1,3 м. Рекомендовано для відокремленого робочого місця проводити вологе вбирання, що забезпечує незначні електричні поля упродовж 1,5 годин. За експлуатації багатьох персональних комп'ютерів поверхневі заряди доцільно нейтралізувати за допомогою ультразвукового зволожувача-іонізатора повітря. Наголошено, що проведене дослідження має окремий характер. Це обумовлене присутністю конкретних синтетичних матеріалів. Доцільним є проведення досліджень у стандартних приміщеннях з експлуатації комп'ютерної техніки для отримання інформації, яка може бути узагальнена й використана для розроблення санітарних норм з експлуатації засобів обчислювальної техніки.

Ключові слова: *персональний комп'ютер, аероіон, електростатичний заряд, деіонізація повітря*.

Постановка проблеми

Аероіонізація повітря – концентрації негативних та позитивних аероіонів у повітрі виробничих приміщень є одним з вагомих показників якості виробничого середовища. На іонізацію повітря впливає багато факторів: природна радіоактивність, активність будівельних матеріалів, наявність у повітрі пилу і аерозолей тощо. Якість виробничого середовища слід розглядати у кожному конкретному випадку з урахуванням перелічених чинників. На сьогоднішній день існує велика категорія приміщень, у яких основним технічним засобом є персональний комп'ютер і допоміжні пристрої, на яких виконуються роботи великої відповідальності, що вимагає створення належних умов праці. Відомо, що персональні комп'ютери (в основному – системні блоки) й друкувальні пристрої змінюють аероіонний режим приміщень у несприятливий бік. В останні роки принципово змінився парк технічних засобів, але достовірних даних щодо їх впливу на концентрації аероіонів та їх полярність відсутні. Певним чином це пояснюється відсутністю сучасних правил охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. Але існують загальні санітарні норми та міжнародні стандарти щодо мінімально допустимих концентрацій аероіонів. Тому актуальною задачею є дослідження динаміки аероіонного складу повітря з експлуатації персональних комп'ютерів та визначення шляхів підтримання цього показника на нормативному рівні.

Аналіз останніх джерел і публікацій

В останні роки майже не приділялося уваги дослідженням іонізації повітря у офісних приміщеннях. У роботах [1, 2] вплив комп'ютерів й оператора на якість повітря стосувався стаціонарних комп'ютерів, але у сучасних умовах (крім виконання спеціальних робіт) застосовуються переважно комп'ютери типу Note book. Бо більшість сучасних досліджень стосується або гігієнічного значення

© Панова О.В., Левченко Л.О., Теслицький І.А.

аероіонізації повітря [3, 4], або застосування аероіонів для очищення повітря від пилу, що сприяє його знезараженню [5]. У дослідженні [4] переконливо показано, що у приміщеннях керування повітряним рухом цивільної авіації єдиним фізичним фактором, що не відповідає чинним нормативам є концентрації аероіонів. При цьому спостерігається сильна електризація синтетичних поверхонь. Залишилось нез'ясованим первинність явищ: електризація поверхонь впливає на деіонізацію повітря, чи цей процес складніший. Не з'ясовано вплив комп'ютерної техніки, яка щільно розташована у диспетчерських, на згадані показники.

Мета статті – дослідити динаміку концентрацій аероіонів у приміщеннях з експлуатації комп'ютерної техніки, визначити джерела іонізації (деіонізації) та надати рекомендації щодо нормалізації аероіонного режиму повітря робочих приміщень.

Виклад основного матеріалу

Концентрації аероіонів у повітрі виробничих приміщень регламентовані санітарними нормами [6] і складають за негативними n^-=600 см$^{-3}$, позитивними n^+=400 см$^{-3}$ як мінімально допустимі. У європейському нормативі [7] концентрації аероіонів обох знаків не повинні бути нижчими за 500 см$^{-3}$. При цьому регламентується максимально допустимі напруженості електричного поля (100 В/м), що є важливим через взаємний зв'язок цих показників стану середовища. Наведені значення з є такими, що за даними на сьогоднішній день не складають ні якого негативного впливу на здоров'я людей. Ці кількісні дані й доцільно вважати за орієнтири під час проведення досліджень.

Вимірювання концентрацій аероіонів обох знаків виконувалось лічильником аероіонів «Сапфір-3К» згідно інструкції з експлуатації. Враховуючи велику паспортну похибку приладу (20%), оброблення результатів вимірювань здійснювалося за спеціальною методикою [8]. Концентрацію аероіонів кожного знаку визначали як середнє арифметичне 24-х вимірювань поспіль. Випадкова похибка складала $\Delta\rho<\delta/3$. Що задовольняє умовам, за яких похибка вимірювань концентрацій аероіонів Δ дорівнює системній інструментальній похибці δ.

Напруженості електричного поля поверхневих електростатичних зарядів вимірювалися вимірювачем напруженості електричного поля НЕП-П, згідно інструкції з експлуатації. Мінімальна основна похибка вимірювань не перевищувала 10 %.

Дослідження концентрацій аероіонів у повітрі середовища пов'язані з визначенням впливу технічних засобів на здоров'я робітників та оцінки мікроклімату у сучасних робітничих приміщеннях [9]. Тому, на першому етапі було перевірено вплив комп'ютера (Note book з LED підсвіткою діагоналлю 17 дюймів) на концентрації аероіонів. Вимірювання здійснювалися на робочому місці оператора. Інтервал між вимірюваннями складав одну годину, що забезпечувало стабілізацію концентрацій аероіонів. Результати вимірювань наведено у табл.1.

Таблиця 1

Концентрація аероіонів на робочому місці користувача переносного комп'ютера

n	Фонові значення	Комп'ютер у робочому режимі; оператор відсутній	Комп'ютер у робочому режимі; оператор присутній	Після вимикання комп'ютера
n^-; см$^{-3}$	350	460	440	460
n^+; см$^{-3}$	670	530	490	500

Як видно з отриманих даних, протягом години після вмикання комп'ютера концентрації аероіонів обох знаків біля комп'ютера занизилися. Присутність користувача ще знизила концентрації аероіонів обох знаків. Після вимикання комп'ютера концентрації починають зростати, але враховуючи значний час (одна година) – це зростання незначне. Слід зазначити, що приміщення під час експерименту було зачинене й не провітрювалось, тому на ці показники можуть впливати чинники, присутні біля робочого місця.

У роботі [1] показано, що присутність користувача – його дихання не спричиняє змін аероіонного складу повітря на робочому місці. (Повістю появу аерозолей, які видихаються, виключити не можна, але за присутності однієї людини вплив незначний).

Чинником деіонізації, крім аерозолей, може бути дрібнодисперсний пил та електростатичні поля. Для стаціонарних комп'ютерів чинником деіонізації є лопаті вентиляторів охолодження. Але для переносних комп'ютерів вплив не може бути суттєвим, але потребує перевірки.

Відомо, що на концентрації аероіонів значний вплив мають електричні поля, які утворюються електростатичними зарядами на діелектричних і незаземлених металевих поверхнях і предметах.

Тому, на другому етапі було виконано вимірювання на тому ж робочому місті, що і у табл.1. В усіх випадках – користувач на робочому місті був відсутній. Результати наведено у табл.2.

Таблиця 2

Вплив постійних електричних полів на концентрації аероіонів на робочому місці переносного комп'ютера

E; В/м		Фонові значення	Комп'ютер працює від батареї	Комп'ютер працює від джерела живлення
		~0	1,8-2,0	4,7-5,0
n; $см^{-3}$	n^-	650	440	400
	n^+	920	870	810

З даних таблиці 2 можна зробити висновок, що навіть за невеликий проміжок часу (одна година) робота комп'ютера спричиняє електризацію поверхонь, причому за роботи від силової мережі цей ефект більший (застосовувалася точка живлення без нульового захисного провідника). Джерелом електризації, згідно вимірювань може бути вентилятор охолодження процесора, який прокачкою сухого повітря уздовж поверхні столу викликає його електризацію.

Постає питання про вплив користувача на цей показник (колонка 3 у табл.1). Очевидно, що додаткова електризація поверхонь викликана тертям одягу користувача по поверхням синтетичної оббивки робочого крісла та поверхні столу. Можна пояснити й повільне зростання концентрацій аероіонів після завершення роботи. Наелектризовані поверхні упродовж певного часу спричиняють дрейф аероіонів та їх нейтралізацію. Вимірювання показали, що за відносною вологості повітря 45–50% у кімнаті об'ємом 35 $м^3$ аероіонний режим відновлюється за 1,2-1,5 години.

У реальних умовах виробництва у робочих кімнатах зазвичай експлуатується кілька комп'ютерів, тому необхідно з'ясувати зону впливу наелектризованої поверхні.

Третій етап. Для цього було виготовлено зразок синтетичного покриття розмірами 1,0×1,0 м, на який за рахунок трибоелектричного ефекту було нанесено еклектичний заряд. Вимірювалася напруженість електричного поля на різних відстанях від зразка. Вимірювання виконувалися за температури 22-23°С й відносній вологості повітря 48-49 % (Рис.1).

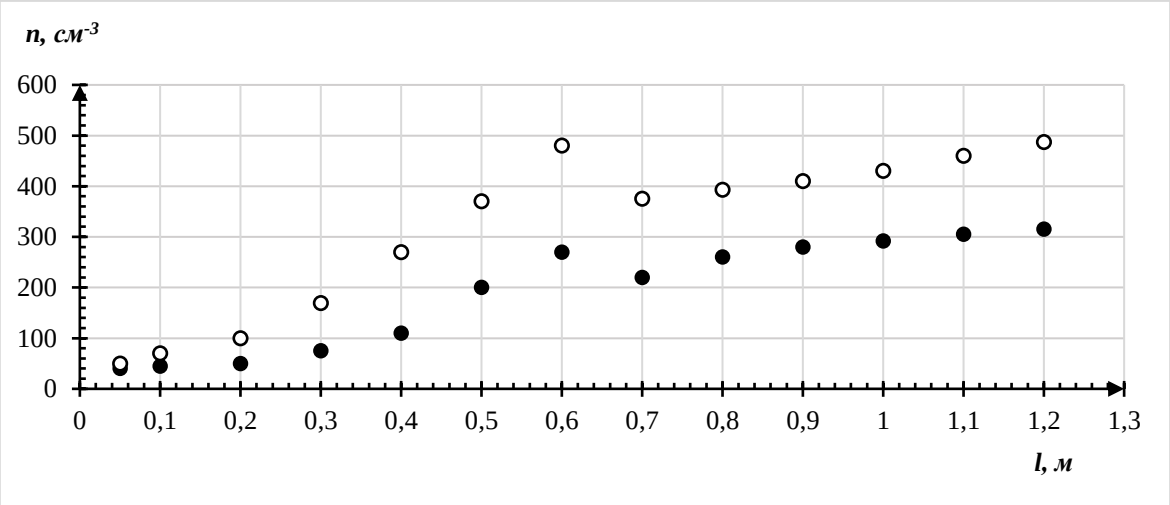

Рис.1. Зміна концентрацій аероіонів обох знаків з відстанню від наелектризованої поверхні.

E=4,5-4,6 кВ/м; фонові значення n^+=530 $см^{-3}$, n^-=430 $см^{-3}$.

○ позитивні аероіони

● негативні аероіони

Як видно з рисунку, для даної напруженості поля критичною є відстань 1,2-1,3 м, після цього аероіонний стан стабілізувався. Цікавим є перелом кривих на відстані біля 0,6 м. Повторні вимірювання показали, що це явище системне. Можливо, на ці відстані для даних умов відбуваються процеси рекомбінації іонів, що спричиняє зниження їх концентрацій, після цього за рахунок природних процесів концентрації аероіонів обох знаків починають зростати.

Аналізуючи отриману залежність з'ясовано, що зони зниження концентрацій аероіонів були виявлені при дослідженні часового й просторового поширення аероіонів від джерела штучної іонізації повітря. Тому це явище у подальшому потребує ретельного вивчення.

Слід врахувати, що електризуються не тільки поверхні підлогових покриттів, меблів, а й самі технічні засоби. Це корпуси комп'ютерів (полімерні – до 2,5-3,0 кВ/м, металізовані – до 3,5-,36 кВ/м) за умови роботи від акумуляторної батареї.

Для зниження ефекту електризації і, як наслідок, – уникнення деіонізації повітря необхідне впровадження організаційно-технічних заходів. Найпростіший з них – протирання корпусу комп'ютера й усіх поверхонь навколо нього серветкою. Вимірювання свідчать, що приблизно упродовж 1,5 годин поверхневі заряди несуттєві і не впливають на якість повітря. За застосування кількох комп'ютерів упродовж усього робочого дня доцільно застосовувати зволоження та аероіонізацію повітря за допомогою ультразвукового зволожувача. Підвищена іонізація повітря нейтралізує поверхневі заряди й підтримує концентрації аероіонів на нормативному рівні.

Проведене дослідження стосується одного робочого місця. Доцільним є проведення коректного експерименту у ізольованому приміщенні з кількома однотипними переносними комп'ютерами і за наявності системи підтримання мікрокліматичних показників [10], які можна отримати за допомогою комп'ютеризованих вимірювальних приладів у сучасних робітничих приміщеннях.

Висновки

1. Встановлено, що усі доступні результати досліджень щодо змін аероіонного режиму повітря приміщень з експлуатації комп'ютерної техніки стосуються стаціонарних комп'ютерів й не відповідають потребам сьогодення. Доцільно оцінювати вплив одиничного переносного комп'ютера у фіксованому замкненому об'ємі на концентрації аероіонів.

2. Показано, що ввімкнений переносний комп'ютер однієї з найпоширеніших моделей неоднозначно впливає на концентрації аероіонів – відбувається незначне (у рамках похибки вимірювань) підвищення концентрацій негативних іонів та різке зниження позитивних. Це свідчить про негативну електризацію поверхонь у межах робочого місця. Присутність користувача підсилює цей ефект внаслідок трибоелектичних процесів.

3. Визначені кількісні значення напруженості полів електростатичних зарядів і пов'язаних з ними деіонізацій повітря поблизу робочого місця. Встановлена закономірність зміни концентрацій аероіонів обох знаків з відстанню від електризованої поверхні. Критична відстань становить 1,2-1,3 м.

4. Проведені дослідження мають окремий характер, що обумовлене конкретними полімерними матеріалами, задіяними у дослідженнях. Доцільно узагальнити дані щодо найбільш поширених матеріалів та провести дослідження у стандартному приміщенні експлуатації персональних комп'ютерів.

Література

1. *Сидоров О.В. Вплив електростатичних полів на концентрації легких аероіонів на робочому місці оператора ПЕОМ / О.В. Сидоров, В.А. Глива // Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия: Безопасность жизнедеятельности. – 2013. – Вып. 71., Т.2. – С. 176–183.*
2. *Сидоров О.В. Дослідження впливу користувачів персональних комп'ютерів на концентрації легких аероіонів / О.В. Сидоров // Проблеми охорони праці в Україні. – 2013. – Вип. 26. – С. 97–109.*
3. *Standard of Building Biology Testing Methods: SBM–2015 [acting from July 2008]. Germany: Institut für Baubiologie +Ökologie IBN. 2015. 2 p.*
4. *Глива В.А. Дослідження рівнів фізичних факторів у приміщеннях диспетчерських служб аеропортів цивільної авіації / В.А. Глива, К.Д. Ніколаєв, О.М. Тихенко, О.П. Тимошенко // Системи управління, навігації та зв'язку. − 2019. − Вип. 1(53). − С. 32−35.*
5. *Фізіолого-гігієнічна оцінка умов праці банківських працівників / В.І. Назаренко, І.М. Чередніченко, О.І. Никифорук, В.Г. Мартіросова, Н.С. Тихонова, О.Ю Беседа, С.П. Палійчук // Український журнал з проблем медицини праці. − 2017. − № 4(53). − С. 35−41. https://doi.org/10.33573/ujoh2017.04*
6. *Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затв. Наказом МОЗ від 08.04.2014 № 248.*
7. *ДНАОП 0.03-3.06-80. Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень № 2152−80.*
8. *Сукач С.В. Методологічні засади підвищення якості контролю аероіонного складу повітря виробничого середовища. / С.В. Сукач, О.В. Сидоров // Проблеми охорони праці. − 2016. − № 32. − С. 127−133.*
9. *Air Ion Behavior in Ventilated Rooms / Fletcher L. A., Noakes C. J., Sleigh P. A., Beggs C. B., Shepherd S. J. // Indoor and Built Environment. − 2008. − Vol. 17, Issue 2. − P. 173–182. doi: https://doi.org/10.1177/1420326x08089622*
10. *Laktionov I., Vovna O., Zori A. Copncept of low cost computerized measuring system for microclimate parameters of greenhouses // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2017. − Vol. 23, Issue 4. − P. 668–673.*

References

1. Sidorov, O.V., Glyva, V.A (2013). Influence of electrostatic fields on the concentration of light air ions at the workplace of the PC operator. *Construction, materials science, mechanical engineering. Series: Life safety*, 71(2), 176–183. [in Ukrainian]
2. Sidorov, O.V. (2013). Research of influence of users of personal computers on concentration of light air ions. *Problems of labor protection in Ukraine*, 26, 97–109. [in Ukrainian]
3. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM–2015 [acting from July 2008]. Germany: Institut für Baubiologie +Ökologie IBN. 2015. 2 p.

4. Glyva, V.A., Nikolaev, K.D., Tikhenko, O.M., Tymoshenko, O.P. (2019). Research of levels of physical factors in premises of dispatching services of airports of civil aviation. *Control, navigation and communication systems*, 1(53), 32−35. [in Ukrainian]
5. Nazarenko, V.I., Cherednichenko, I.M., Nikiforuk, O.I., Martirosova, V.G., Tikhonova, N.S., Beseda, O.Y., Paliychuk, S.P. (2017). Physiological and hygienic assessment of working conditions of bank employees. *Ukrainian Journal of Occupational Medicine*, 4(53), 35–41. https://doi.org/10.33573/ujoh2017.04 [in Ukrainian]
6. Hygienic classification of labor according to the indicators of harmfulness and danger of factors of the production environment, the severity and intensity of the labor process, approved. By the order of the Ministry of Health dated 08.04.2014 № 248. [in Ukrainian]
7. DNAOP 0.03-3.06-80. Sanitary and hygienic norms of permissible levels of air ionization of industrial and public premises № 2152-80. [in Ukrainian]
8. Sukach, S.V., Sidorov, O.V. (2016). Methodological principles of improving the quality of control of the aeroionic composition of the air of the production environment. *Problems of labor protection*, 32, 127–133. [in Ukrainian]
9. Fletcher, L.A., Noakes, C.J., Sleigh, P.A., Beggs, C.B., Shepherd, S.J. (2008). Air Ion Behavior in Ventilated Rooms. *Indoor and Built Environment*, 17(2), 173–182. https://doi.org/10.1177/1420326x08089622
10. 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.

Рецензент: д-р технічних наук, проф. В.А. Глива, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна.

Автор: ПАНОВА Олена Василівна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізики
Київський національний університет будівництва і архітектури
E-mail – elenapanova169@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7975-1584

Автор: ЛЕВЧЕНКО Лариса Олексіївна
доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем
Національний технічний університет "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
E-mail – larlevch@ukr.net
ID ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7227-9472

Автор: ТЕСЛИЦЬКИЙ Ігор Анатолійович
викладач інформатики
Слов'янська загальноосвітня школа I–III ступенів №18 Слов'янської міської ради Донецької області
E-mail – iteslitskiy@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0765-9273

RESEARCH OF AIR IONIZATION OF AIR IN PREMISES ON OPERATION OF COMPUTER EQUIPMENT

O. Panova[1], L. Levchenko[2], I. Teslytsky[3]
[1]Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine
[2]"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" National Technical University, Ukraine
[3]Secondary school №18, Slavyansk, Ukraine

All known studies on the effect of computer equipment on the concentration of air ions of both signs have been used for rooms where desktop computers are operated. The expediency of conducting research using a laptop computer is substantiated. Therefore, the urgent task is to study the dynamics of the air ionic composition of the air from the operation of personal computers and identify ways to maintain this indicator at the regulatory level. It is shown that the switched on computer deionizes air, and mainly on one polarity. It is established that this is a consequence of electrification of polymer surfaces. The cause of electrification is triboelectric phenomena, including the directional movement of dry air from the CPU cooling fan. Additional electrification (and consequently - deionization of air) gives the presence of the user. Confirmation of the cause of deionization is the slow recovery of the concentration of air ions after turning on the computer to a certain neutralization of surface charges. The dependences of the change of air ion concentrations on the distance from the electric field source are established. At its intensity of about 5 kV/m with dimensions of 1.0×1.0 m, the critical distance is 1.2-1.3 m. It is recommended to carry out wet absorption for an unambiguous workplace, which provides insignificant electric fields for 1.5 hours. During the operation of many personal computers, it is advisable to neutralize surface charges with an ultrasonic humidifier-ionizer. It is emphasized that the conducted research has a separate character. This is due to the presence of specific synthetic materials It is advisable to conduct research in standard rooms for the operation of computer equipment to obtain information that can be summarized and used to develop sanitary standards for the operation of computer equipment.

Keywords: *personal computer, air ion, electrostatic charge, air deionization.*