

УДК 628.5/8:614.7

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/2\(2\).2025.14-27](https://doi.org/10.36910/3083-6255/2(2).2025.14-27)

Н. Б. Бурдейна
В. А. Глива
Я. І. Бірук
Т. Б. Петруньок
О. М. Григорчук

АНАЛІЗ І НОРМАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ, НИЗЬКОЧАСТОТНОГО ЗВУКУ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ В ПРИМІЩЕННЯХ З ВЕЛИКОЮ КІЛЬКІСТЮ КОМП'ЮТЕРІВ

Мета. Здійснити комплексне дослідження динаміки і нормалізації кількісних характеристик шкідливих фізичних чинників, що не сприймаються безпосередньо органами чуття користувачів, у приміщеннях і на робочих місцях, з великою кількістю комп'ютерів і оргтехніки. Це дозволить розробити заходи забезпечення нормативних умов праці користувачів персональною комп'ютерною технікою.

Методологія. Проведення вимірювань концентрації позитивних і негативних іонів повітря, рівнів низькочастотного звуку та інфразвуку, а також напруженості електричної та індукції магнітної складових електромагнітних полів в приміщеннях з великою кількістю комп'ютерної техніки. Визначення динаміки значень фізичних чинників середовища у просторі та часі, здійснення аналізу негативного впливу комп'ютерної техніки та допоміжних пристроїв для визначення умов та засобів їх нормалізації.

Результати. Проведено оцінку генерації іонів різними моделями копіювальної техніки і модернізованих лазерних принтерів. Встановлено, що концентрація утворених іонів може досягати 1500 см^{-3} для лазерних принтерів та 2800 см^{-3} для струменевих принтерів. Визначено, що на відстані 1,0–1,5 м концентрація іонів повітря повертається до фонового рівня. Показано, що робота одного системного блока є основним наднормативним фактором під час експлуатації переносних комп'ютерів, оскільки його електричні поля з напруженістю до 9 кВ/м призводять до зменшення концентрації легких аероіонів у зоні перебування користувача (позитивних іонів приблизно на 100 см^{-3} , а негативних – на 200 см^{-3}). Встановлено, що різниця між рівнями звуку, зареєстрованими за шкалами «Lin» і «A», становить до 24 дБ. Це вказує на істотний вплив інфразвуку на організм користувачів. З'ясовано, що сучасні монітори не створюють електромагнітних полів, інтенсивність яких перевищувала б гігієнічно допустимі межі. При цьому системні блоки генерують електричні поля величиною 18–22 В/м і магнітні поля 220–245 нТл, що межують із гранично допустимими рівнями. Виявлено, що джерела безперебійного живлення та люмінесцентні світильники створюють магнітні поля підвищеної інтенсивності – до 2250 нТл і 2300 нТл відповідно. Досліджено спектральний склад і амплітуду магнітних полів зовнішніх джерел живлення ноутбуків.

Новизна. Визначено особливості динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях з великою кількістю комп'ютерної техніки, амплітудно-частотних характеристик низькочастотного звуку та інфразвуку, визначені особливості амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів, що дозволило надати рекомендації щодо їх нормалізації та підтримання в межах нормативних параметрів.

Практична значимість. Для нормалізації концентрації іонів повітря на робочих місцях необхідно впроваджувати системи штучної іонізації повітря. Для зниження істотного впливу інфразвуку та низькочастотного звуку на організм користувачів рекомендовано застосовувати мембранні звукопоглинальні екрани, налаштовані на їх резонансні частоти. Обґрунтовує потребу впровадження систем зменшення інтенсивності електростатичних полів на робочих місцях. Для захисту від впливу електромагнітних полів широкочастотного діапазону рекомендовано застосування розроблених та запатентованих матеріалів.

Ключові слова: комп'ютер, ноутбук, іонізація повітря, інфразвук, низькочастотний звук, електромагнітне поле.

Вступ.

Комп'ютерна техніка сьогодні є одним із ключових інструментів у багатьох сферах і видах діяльності – від навчальної до виробничої, організаційної та наданні послуг. Працівники, які використовують комп'ютери для виконання своїх професійних обов'язків, здійснюють діяльність, від точності та надійності якої залежить безпека людей, стабільність функціонування підприємств і якість

кінцевої продукції. Саме тому створення сприятливих і безпечних умов праці для цієї категорії персоналу є вкрай важливим. Переважна частина досліджень присвячена фізичним параметрам, заважаючого або драгуючого характеру – мікроклімату та шумовому навантаженню. Але на стан працівників суттєво впливають різні шкідливі фізичні чинники виробничого середовища, що не сприймаються безпосередньо органами чуття людини:

рівень іонізації повітря, рівень інфразвуку та низькочастотного звуку, електромагнітні поля, через що до їх дослідження і нормування звертаються значно рідше.

Необхідність підтримувати параметри фізичних факторів на безпечному та комфортному рівні в приміщеннях із комп'ютерною технікою визначається європейськими нормативами [1]. Загальні граничні величини фізичних факторів середовища визначені відповідними нормативними документами [2]. Рівні електромагнітних полів на робочих місцях регламентує міжнародний стандарт MPR II [3], а ще жорсткіші вимоги містить рекомендаційний стандарт ТСО [4].

Більшість чинних норм встановлює вимоги до стану середовища у статичному режимі, хоча в реальних умовах параметри на робочих місцях можуть змінюватися під впливом зовнішніх і внутрішніх чинників. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває дослідження динаміки фізичних факторів середовища як у приміщеннях, так і на робочих місцях користувачів комп'ютерів і оргтехніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідженню таких шкідливих фізичних факторів, як концентрація аероіонів, рівні інфразвуку та низькочастотного звуку, значення електромагнітних полів, приділена недостатня увага через відсутність скарг, оскільки вони не сприймаються органами чуття людини.

У роботі [5] розглянуто особливості формування іонного середовища поблизу комп'ютерної техніки. Показано, що присутність користувача не чинить помітного впливу на рівень аероіонів, а головними чинниками зміни їх концентрації виступають повітряні потоки, створені вентилятором, та електростатичні заряди на корпусі пристрою. Дослідження [6] зосереджене на числовому моделюванні переміщення іонів у приміщеннях із джерелами іонізації та деіонізації, зокрема при наявності декількох комп'ютерних робочих місць. Отримані результати демонструють значний вплив просторової конфігурації розташування обладнання та наявних перегородок на структуру іонного поля.

Наукові дослідження щодо створення інфразвукових і низькочастотних акустичних полів комп'ютерною технікою наразі нечисленні. Проте в дослідженні [7] продемонстровано, що у загальному спектрі шуму комп'ютерних систем переважають низькочастотні компоненти, які й формують основне акустичне навантаження. Це вимагає проведення глибших досліджень рівнів низькочастотного звуку та інфразвуку в робочих зонах з комп'ютерами і технікою.

Попри все, найбільш поширеними залишаються дослідження електромагнітних полів, що виникають під час роботи персональної комп'ютерної техніки. У праці [8] йдеться про фіксацію поблизу ноутбука значень магнітної індукції низькочастотного діапазону, які перевищують гранично допустимі значення. Водночас не ідентифіковано джерела поля: ним могли бути як елементи самої техніки, так і зовнішні фактори – блоки живлення або силова електромережа будівлі. У роботі [9] наведено ще вищі значення індукції – до 0,5 мкТл на поверхні переносного комп'ютера. У публікації [10] здійснено вимірювання полів з різних боків пристрою, проте рекомендована відстань, на якій рівень індукції становить 0,4 мкТл, що перевищує нормативні значення [1].

Отже, потребують уточнення й дослідження показники іонізації повітря: важливо оцінити ефективність технічних засобів іонізації та деіонізації та визначити умови, за яких можна підтримувати стабільну концентрацію аероіонів різних знаків. Також необхідно отримати об'єктивні дані щодо рівнів інфразвуку та низькочастотного шуму на робочих місцях, а також розробити методи зменшення їхнього впливу. Не менш актуальною є комплексна оцінка фізичних чинників, що створюються сучасними комп'ютерами і не відчуються людиною, – насамперед значень характеристик електромагнітних полів, їх джерел та шляхів нормалізації. Систематичний контроль параметрів робочого середовища у приміщеннях з персональними і переносними комп'ютерами дасть змогу отримати реальні дані про рівні фізичних чинників, їх часові та просторові коливання, а також визначити технічні джерела їхнього формування. Це стане підґрунтям для створення ефективних заходів з нормалізації та підтримання на

нормативному рівні іонного складу повітря, інфразвукових та низькочастотних шумів, а також електромагнітних полів.

Мета дослідження

Метою даного дослідження є визначення просторових і часових змін значень іонізації повітря, рівнів низькочастотного звуку (інфразвуку) та силових характеристик електромагнітних полів у приміщеннях з великою кількістю комп'ютерів і оргтехніки. Дозволить розробити заходів нормалізації умов праці користувачів персональних комп'ютерів.

Методи дослідження

Для отримання результатів дослідження було досліджено негативний вплив персональних комп'ютерів, допоміжних пристроїв і оргтехніки на значення динаміки фізичних чинників середовища. А саме, зміна у просторі та часі іонізації повітря, низькочастотного звуку та інфразвуку, силових характеристик електромагнітних полів у приміщеннях з великою кількістю комп'ютерної техніки.

Були виконані обстеження у приміщеннях з великою кількістю стаціонарних комп'ютерів з рідкокристалічними моніторами найпоширеніших діагоналей, а також виконані обстеження робочих місць з ноутбуків. Окремо аналізувався можливий вплив периферійних пристроїв та допоміжного обладнання, зокрема принтерів і роутерів, на показники фізичних чинників.

Для встановлення концентрації іонів обох знаків використовували прилад «Сапфір ЗК». Параметри мікроклімату — температуру та відносну вологість — фіксували комбінованим вимірювачем CX601D. Показники низькочастотного шуму та інфразвуку реєстрували шумоміром «SVAN 979» виробництва SVANTEK. Усе вимірювальне обладнання було перевірено та застосовувалося відповідно до експлуатаційної документації.

Вимірювання рівнів електромагнітних полів здійснювали за допомогою спектроаналізатора Spectran 5035, який підтримує режим ТСО та дозволяє визначати інтегральні напруженості електричних і магнітних полів у діапазонах 5 Гц–2 кГц і 2–400 кГц відповідно до вимог нормативних документів [1, 3].

Оцінювання кількісних параметрів фізичних чинників проводилося згідно зі стандартною методикою ТСО [4]. Дослідні роботи виконували у приміщеннях, що відповідали нормативам щодо мінімальної площі (6 м²) та об'єму (20 м³) на одне робоче місце з комп'ютерною технікою [3].

Під час експериментів температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря були в межах, визначених ергономічними вимогами до офісної роботи з візуальними терміналами [2].

Виклад основного матеріалу

У рамках дослідження було проаналізовано зміну концентрацій позитивних і негативних іонів у повітрі на робочих місцях та в приміщеннях з великою кількістю комп'ютерної техніки.

Вимірювання проводили в кімнаті, обладнаній десятьма персональними комп'ютерами однакової конфігурації з рідкокристалічними моніторами. Усі пристрої працювали в ідентичному режимі, виконуючи однакове програмне завдання. Потужність системних блоків становила 600 Вт. Механічна (примусова) вентиляція у кімнаті була відсутня. Параметри приміщення відповідали нормативним вимогам: на кожне робоче комп'ютеризоване місце припадало 6 м² площі та 20 м³ об'єму.

Початок відліку часу відповідав фоновому стану іонного складу повітря за вимкненого обладнання. До таблиці 1 вносили усереднені значення концентрацій, отримані в кожній серії послідовних вимірювань.

Таблиця 1

Значення концентрацій іонів обох полярностей (n^- , n^+) з часом роботи стаціонарних комп'ютерів

t , год	n , см ⁻³	
	n^-	n^+
0	520	590
1	490	560
2	480	450
3	460	380
4	440	390
5	440	380

У межах нормативного об'єму один комп'ютер протягом трьох годин безперервної роботи зменшує концентрацію негативних іонів приблизно на 100 см^{-3} , а позитивних – орієнтовно на 200 см^{-3} . Після цього етапу спостерігається стабілізація значень. Під час проведення вимірювань у приміщенні не перебували люди, а рівні електризації поверхонь змінювалися лише в межах похибки приладів. Це дало змогу зробити висновок, що деіонізація повітря пов'язана саме з роботою стаціонарних комп'ютерів.

Додаткові перевірки за використання обладнання інших моделей підтвердили отримані результати: відхилення відповідали межах похибки, що засвідчує

стійкість ефекту. Таким чином, стаціонарні персональні комп'ютери спричиняють зниження концентрацій іонів у повітрі до рівнів, що є нижчими за нормативні.

У зв'язку з установленим ефектом постає необхідність застосування систем штучної іонізації повітря в приміщеннях, де функціонує значна кількість комп'ютерної техніки. Водночас інші технічні засоби, що зазвичай використовуються поруч із комп'ютерами, можуть чинити різний вплив на іонний склад повітря. Зокрема, було проведено вимірювання концентрацій утворених пар іонів обох знаків на відстані 0,5 м від працюючих лазерних принтерів різних виробників та струменевими принтерів (таблиця 2).

Таблиця 2

Утворення пар іонів обох знаків лазерними принтерів різних виробників та струменевими принтерами

Копіювальний апарат	Кількість пар іонів, см^{-3}
Лазерний прилад виробника № 1	760–930
Лазерний прилад виробника № 2	800–940
Лазерний прилад виробника № 3	1220–1400
Лазерний прилад виробника № 4	1700–1900
Лазерний прилад виробника № 5	1350–1500
Струменевий персональний принтер формату А4	440–650
Стаціонарний струменевий принтер формату А4	1750–2100
Стаціонарний струменевий принтер формату А5-А3	2500–2800

Суттєві відмінності у вимірних значеннях можна пояснити неоднаковою продуктивністю окремих моделей принтерів, а також варіаціями мікрокліматичних параметрів, зокрема відносно вологості повітря в різних приміщеннях.

Аналіз результатів, наведених у таблиці 2, свідчить, що копіювальне обладнання усіх видів сприяє значному підвищенню концентрацій пар іонів у повітрі. Просторово-часові закономірності такого розподілу можуть бути оцінені за допомогою аналітичних залежностей, поданих у роботі [6]. Водночас необхідно враховувати, що в зоні подачі паперу в принтерах і копіювальних апаратах відбуваються коронні розряди, які

забезпечують утворення пар іонів, але паралельно супроводжуються утворенням озону та оксидів азоту. Ці продукти можуть мати негативний вплив на здоров'я людини, що зумовлює потребу в окремому комплексному дослідженні цього процесу.

Додатково було проаналізовано рівні низькочастотного звуку й інфразвукових коливань у приміщеннях, де експлуатуються стаціонарні комп'ютери. Основним джерелом акустичного навантаження таких систем є вентилятори охолодження. Було здійснено вимірювання загальних рівнів звукового тиску вентиляторів різної продуктивності та потужності (таблиця 3). При цьому фонові значення шуму не перевищували 5 дБА.

Таблиця 3

Характеристики різних типів вентиляторів для запобігання перегріву системних блоків

№	Потужність, Вт	Швидкість обертання, хв ⁻¹	Продуктивність, м ³ /хв	Рівень звуку, дБА
1	1,0	2400	0,7	29
2	1,7	1900	1,8	34
3	2,5	3400	1,3	41
4	6,0	4300	1,3	49
5	10,0	1800	1,4	53
6	12,0	3400	4,5	55

Аналіз отриманих результатів показав, що акустичні параметри останніх трьох моделей вентиляторів перевищують гранично допустимі рівні шуму для даного типу обладнання.

Додатково було виконано

вимірювання частотного спектра акустичних коливань, сформованих стаціонарним комп'ютером; графічне представлення спектральних характеристик наведено на рисунку 1.

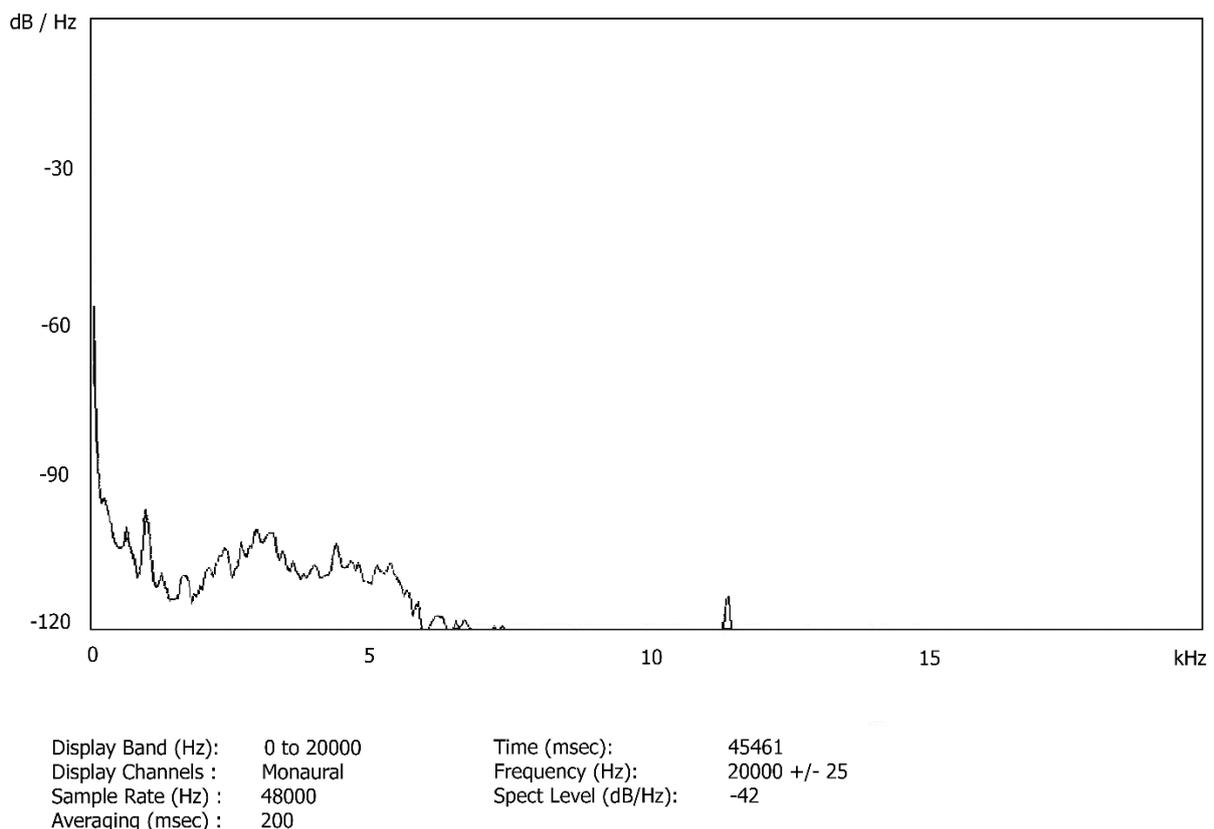


Рис. 1. Акустичний спектр системного блока стаціонарного комп'ютера

Аналіз спектральних характеристик показує, що основна енергія акустичних коливань зосереджена в діапазоні низьких частот. Водночас рівні інфразвукової компоненти сягають значень до 65 дБ.

Додатково було виконано

вимірювання параметрів інфразвуку у приміщенні, де паралельно реєструвалися й інші фізичні чинники за умов роботи десяти персональних комп'ютерів у штатному режимі (таблиця 4).

Таблиця 4

Рівні інфразвуку у октавних смугах частот у приміщенні з великою кількістю комп'ютерів

f , Гц	2	4	8	16
L_{lin} , дБ	92	77	74	71

За результатами вимірювань встановлено, що рівень звукового тиску за лінійною характеристикою становить близько $L_{lin} \approx 74$ дБ, тоді як за шкалою корекції «А» він дорівнює $L_A \approx 56$ дБА. Домінуючий внесок у сумарний акустичний фон формують коливання в діапазоні 500–1000 Гц. Значна різниця між показами за шкалами «Lin» та «А» вказує на відчутну присутність інфразвукових компонентів у досліджуваному просторі.

Однією з характерних властивостей низькочастотних та інфразвукових хвиль є незначне їх затухання при поширенні. Через це акустичний стан приміщення може змінюватися під впливом зовнішніх джерел, розташованих на значних відстанях. Для зменшення такого впливу доцільно застосовувати облицювання стін матеріалами мембранного типу. Найбільша ефективність поглинання досягається на

резонансній частоті, яка визначається з виразу:

$$f_r = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho t b}}, \quad (1)$$

де ρ – густина матеріалу мембрани, l , b , t – довжина, ширина та товщина мембрани відповідно.

При цьому на практиці резонансна частота уточнюється експериментально, шляхом визначення пікової амплітуди у відповідних октавних або третинооктавних смугах.

У подальших дослідженнях було проаналізовано вплив портативних комп'ютерів на концентрацію позитивних та негативних іонів у повітрі.

Спочатку оцінювали зміну іонного складу під час роботи шести ноутбуків, розміщених у приміщенні без механічної вентиляції. Значення концентрації аероіонів відповідали фоновим перед увімкненням обладнання; користувачів у приміщеннях під час вимірювань не було. Потім аналогічні вимірювання проводились, під час роботи користувачів за ноутбуками. Підсумкові результати наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

Динаміка іонного складу повітря на робочих місцях під час роботи персональних комп'ютерів

Час, год	Без користувачів ноутбуків		З користувачами ноутбуками	
	n^- , см ⁻³	n^+ , см ⁻³	n^- , см ⁻³	n^+ , см ⁻³
0	360	490	540	660
1	350	495	490	640
2	360	480	410	560
3	340	470	320	430

Аналіз даних таблиці 5 показує, що самі ноутбуки практично не впливають на рівень іонізації повітря – зафіксовані зміни не перевищують межі похибки вимірювального приладу. Під час виконання роботи користувача ноутбуком спостерігається істотне падіння концентрації іонів.

Отримані результати демонструють, що на відстані від одного до двох метрів від робочого місця користувача ноутбуком

значення концентрації іонів відповідають фоновому рівню. Це свідчить про те, що зниження іонізації повітря пов'язане саме з присутністю людини за ноутбуком. Ймовірним механізмом є електризація поверхонь унаслідок трибоелектричних процесів. Також було проведено вимірювання силової характеристики E електростатичних полів, що формуються під час роботи протягом двогодинного періоду (таблиця 6).

Таблиця 6

Напруженість електростатичних полів користувача ноутбуком

Предмет	Відстань від предмету, м	E , кВ/м)	Знак заряду
Поверхня стола	1	4–8	негативний
Екран ноутбука	1	4–7	позитивний
Клавіатура ноутбука	1	9	позитивний
	2	5	
	3	3	
Спинка крісла користувача	1	3–6	негативний
Сидіння крісла користувача	1	6–10	негативний

Отже, зменшення концентрації іонів у повітрі зумовлене їх осіданням на заряджені поверхні в зоні робочого місця. Водночас повне знешкодження накопичених зарядів не відбувається, оскільки під час діяльності користувача ноутбуком вони постійно відновлюються.

Запобігти цьому явищу можна або регулярним вологим прибиранням полімерних поверхонь, або підтриманням вологості повітря на рівні, близькому до верхньої межі норм – приблизно 60 %. Якщо ці способи недоступні або не дають бажаного ефекту, доцільно застосувати штучні джерела іонізації.

Також було проведено вимірювання рівнів низькочастотного шуму та інфразвуку в приміщеннях, де використовуються ноутбуки. Дослідження виконувалися в умовах, коли фонові значення цих параметрів знаходилися майже на межі чутливості вимірювального обладнання.

Отримані результати свідчать, що як один працюючий ноутбук, так і група з шести ноутбуків створюють низькочастотний звук та інфразвук на рівні, який у десять разів менший за допустимі нормативи. Проте вимірювання у реальних умовах роботи показали, що через високу здатність низькочастотних хвиль проникати крізь конструкції будівель, ці фактори можуть істотно проявлятися під впливом зовнішніх джерел. Спектральний розподіл інфразвукових коливань подано в таблиці 7.

Таблиця 7

Значення рівнів інфразвукових хвиль в октавних смугах частот на робочих місцях користувачів ноутбуків

f , Гц	2	4	8	16
L_{lin} , дБ	82	78	64	68

При цьому $L_{lin} \approx 79$ дБ та $L_A \approx 55$ дБА. Значна різниця між цими параметрами дорівнює 24 дБ, що вказує на підвищений рівень інфразвукових коливань, які можуть негативно позначитися на стані користувачів ноутбуків, особливо тих, хто виконує відповідальні або високоточні завдання.

У зв'язку з цим під час введення обладнання в експлуатацію необхідно здійснювати контроль акустичного середовища, зокрема оцінювати вплив зовнішніх джерел низькочастотного шуму та інфразвуку. Проведене обстеження показало, що найпоширенішими джерелами цих факторів виступають системи механічної вентиляції та пульсації теплоносія в елементах опалювальної інфраструктури.

Додатково були виконані вимірювання електричних та магнітних полів екранів стаціонарних комп'ютерів із рідкокристалічними екранами. Згідно з вимогами [4], тестування проводили на відстані півметра від екранів стаціонарних комп'ютерів діагоналями 20, 23 і 26 дюймів.

Вимірювання проводилися безпосередньо під час реальної роботи

обладнання. При цьому всі джерела освітлення та інші потенційні генератори електромагнітних полів були відключені. Підсумкові дані представлено у таблиці 8.

Рівні електромагнітних полів залишаються в межах установлених нормативів. Невелике зростання характеристик електричної і магнітної складових електромагнітних полів пояснюється збільшенням потужності комп'ютерів із більшою діагоналлю екрана.

Таблиця 8

Значення напруженості електричного поля E та індукції магнітного поля B у зоні перед екраном

Розмір екрану	5–2000 Гц		2–400 кГц	
	E , В/м	B , нТл	E , В/м	B , нТл
20 дюймів	3–6	15–18	1,0–1,2	2–4
23 дюймів	10–12	36–48	1,3–1,5	6–9
26 дюймів	18–24	110–134	1,9–2,2	16–22
Допустимий рівень	25	250	2,5	25

Також були перевірені системні блоки стаціонарних комп'ютерів. Орієнтовні вимірювання показали, що більша частина випромінювань зосереджена у частотному діапазоні 5–2000 Гц. Це пов'язано із застосуванням імпульсних джерел живлення, які мають нелінійні вольт-амперні характеристики. Узагальнені дані подано в таблиці 9.

Таблиця 9

Значення напруженості електричного поля E та індукції магнітного поля B системних блоків стаціонарних комп'ютерів у діапазоні частот 5–2000 Гц

Потужність, Вт	E , В/м	B , нТл
450	1–3	28–35
650	4–7	58–84
850	9–11	114–186
1200	18–22	220–245

Аналіз даних таблиці 9 показує, що

рівні електромагнітних полів залишаються в межах допустимих норм, хоча для більш потужних пристроїв вони прямують до граничних нормативних значень. Варто також враховувати, що у робочих зонах та кабінетах часто присутні інші джерела електромагнітних впливів, зокрема джерела безперебійного живлення. Проведені орієнтовні вимірювання засвідчили, що такі пристрої створюють невеликі електричні поля, проте генерують помітно вищі рівні магнітних полів. Саме тому у подальшому було виконано вимірювання магнітних складових (таблиця 10).

Таблиця 10

Індукція магнітного поля джерел безперебійного живлення у діапазоні частот 5–2000 Гц

Потужність джерела безперебійного живлення, Вт	B , нТл	
	Передня частина	Бічна частина
600	110–140	120–150
1050	760–1100	700–1350
1600	1800–2200	1650–2250

Помітні відхилення у зафіксованих значеннях пояснюються різницею в конструктивному виконанні пристроїв та змінами струмових навантажень у момент проведення вимірювань. Як показано в таблиці 10, джерела безперебійного живлення формують значний внесок у загальну електромагнітну ситуацію в зоні знаходження користувача комп'ютером.

Аналіз просторового розподілу магнітного поля навколо таких пристроїв показав, що зміна індукція магнітного поля B описується залежністю

$$B = CL^{-2,7 \div 2,8}, \quad (2)$$

де C – стала,

L – відстань від джерела.

Це означає, що з віддаленням інтенсивність поля зменшується досить швидко, а характер ослаблення відповідає поведінці магнітного диполя, тобто напруженість спадає обернено пропорційно кубу відстані. З огляду на це, подібне обладнання бажано розміщувати на безпечній віддалі від користувача. Для пристрою потужністю 1600 W

рекомендована відстань становить приблизно 1,5 м, за якої рівень магнітного поля зменшується на порядок нижче від гранично допустимого. Принтери, копіювальні апарати та подібні пристрої – практично не впливають на електромагнітні параметри робочого простору, оскільки їхні поля перебувають на рівні фонових.

Окреме дослідження освітлювальних систем показало, що світлодіодні світильники створюють електромагнітні поля, які ледь перевищують поріг чутливості вимірювального приладу. Натомість люмінесцентні світильники формують помітно сильніші поля й можуть суттєво впливати на електромагнітну ситуацію у приміщенні. Вимірювання проводили на висоті півметра від підлоги (таблиця 11).

Таблиця 11

Значення напруженості електричного поля E та індукції магнітного поля B люмінесцентних світильників

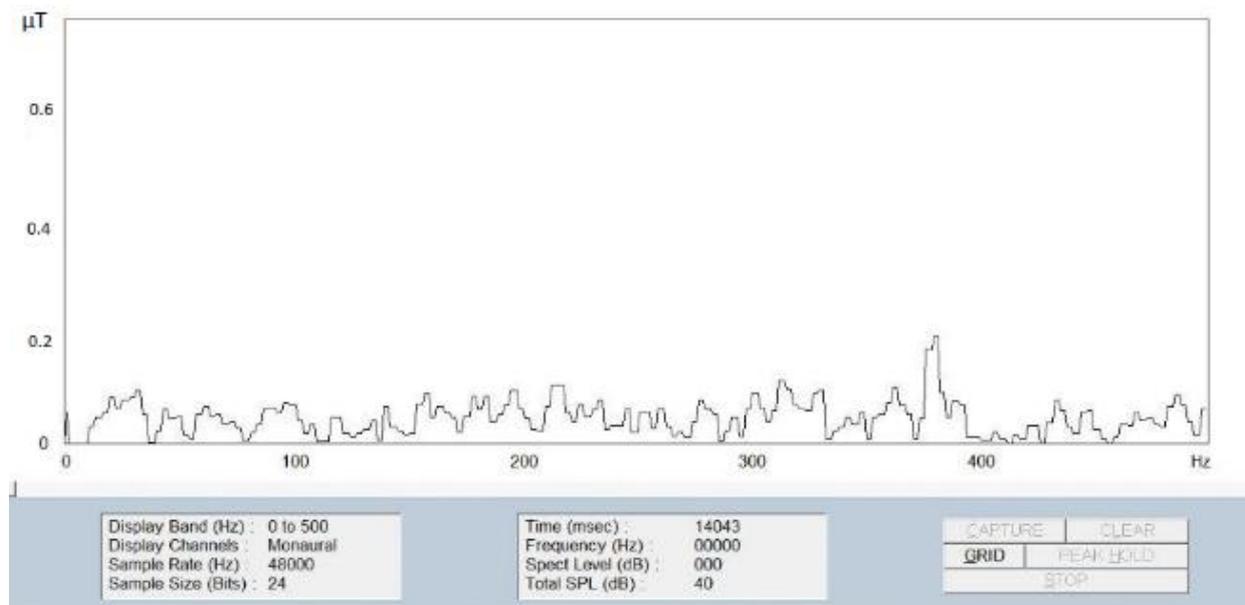
Частота	Напруженість електричного поля E , В/м	Індукція магнітного поля B , нТл
5–2000 Гц	19–22	2100–2300
2–400 кГц	10–13	1–3

У частотному діапазоні 5–2000 Гц

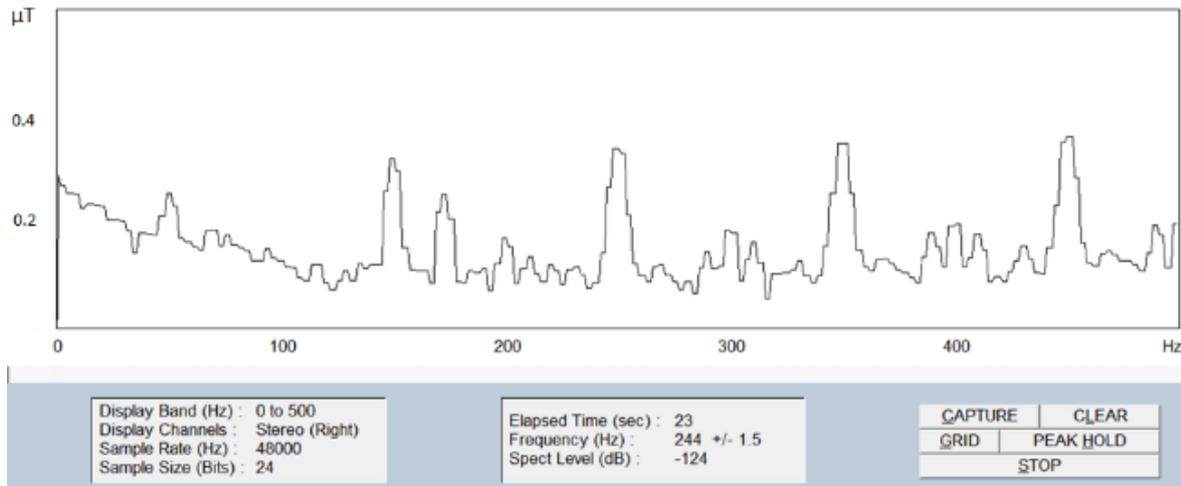
зафіксовані рівні електромагнітних полів, де магнітна складова суттєво перевищує гранично допустимі значення, а електрична – прямує до нормативних меж. Джерелом таких впливів є стельові світильники, розташовані на нижньому поверсі. Оскільки це має системний характер, такі освітлювальні установки потребують заміни на світлодіодні аналоги.

Під час вимірювань електричних і магнітних полів переносних комп'ютерів з екранами 15 і 17 дюймів у частотному діапазоні 2–400 кГц встановлено, що їхні значення знаходяться на рівні фонових. Тестування проводили при роботі від акумуляторів, тобто без навантаження на електромережу. Разом із тим помічено, що зі зростанням навантаження на електричну мережу від допоміжного обладнання відбувається підвищення індукції магнітного поля у низькочастотній області – до 220–230 нТл.

Додатково було вивчено залежність амплітуди індукції від частоти магнітних полів блоків живлення ноутбуків. Виявлено, що навіть при однаковій вихідній потужності різні моделі можуть генерувати досить різні магнітні поля. На рисунку 2, а наведено спектральний склад магнітних полів одного блоку живлення ноутбуків потужністю 330 W, на рисунку 2, б – двох.



а



б

Рис. 2. Залежність амплітуди індукції від частоти магнітних полів двох блоків живлення ноутбуків

Як видно з рисунка 2, перше джерело (рисунок 2, а) формує амплітуди магнітного поля на кількох гармоніках промислової частоти, які перевищують нормативні значення. Повторні випробування не дали можливості встановити чітку закономірність у формуванні магнітних полів різними моделями блоків живлення. У зв'язку з цим під час роботи від силової мережі такі пристрої не слід розміщувати в безпосередній близькості до користувача. Ноутбуки, що працюють автономно (тобто без підключення до зовнішнього джерела живлення), не створюють помітного впливу на електромагнітну ситуацію, який потребував би захисних заходів.

Але слід враховувати, що джерелом наднормативних магнітних полів у приміщеннях з великою кількістю комп'ютерів і техніки можуть бути силові електромережі.

Обговорення результатів

Проведені вимірювання дали змогу виявити низку питань, що потребують детального аналізу й додаткового пояснення. Деіонізація повітря, у приміщеннях з великою кількістю комп'ютерів і оргтехніки, зафіксована для обох полярностей зарядів, обумовлена випадковістю знаків поверхневих зарядів на матеріалах, що взаємодіють під час роботи. Для мінімізації цього ефекту рекомендовано використовувати біполярні ультразвукові іонізатори та очищувачі повітря [11]. Вони дозволяють компенсувати дефіцит іонів із

урахуванням фактичної полярності зарядів та фонових атмосферних умов. Високі рівні електростатичних полів, характерні для робочих місць користувачів ноутбуків, спричиняють не лише деіонізацію повітря, але й рух дрібнодисперсного пилу у напрямку оператора, що може потрапляти в очі.

Суттєві труднощі виникають під час спроб зменшити рівні низькочастотного звуку та інфразвуку. Це пояснюється їх слабким просторовим згасанням, через що на акустичне середовище впливають навіть віддалені джерела. Найвні шумоізолювальні панелі орієнтовані переважно на одну резонансну частоту, тому доцільним є створення конструкцій з кількома мембранами, налаштованими на найзначущі частоти низькочастотних коливань. Таке налаштування слід здійснювати на основі натурних спектральних вимірювань у октавних або третинооктавних смугах.

Було встановлено, що магнітні поля у діапазоні 5–2000 Гц у робочих приміщеннях та безпосередньо на робочих місцях або наближаються до нормативних меж, або навіть перевищують їх.

Проведене дослідження має певні обмеження. З огляду на взаємозв'язок між електромагнітними полями, концентрацією іонів та акустичними параметрами середовища доцільно розробити узагальнені моделі поширення відповідних фізичних чинників у приміщеннях, де експлуатується комп'ютерна техніка. За наявності

експериментальних даних такі моделі можна реалізувати із використанням концептуальних підходів і програмних засобів, поданих у [12, 13].

Ще одним недоліком роботи є складність повного врахування та відокремлення зовнішніх впливів, які можуть змінювати параметри фізичних чинників на робочих місцях. Такі зміни пов'язані, наприклад, з увімкненням зовнішнього обладнання або зміною іонного складу атмосферного повітря через техногенні процеси.

Висновок

У результаті проведених досліджень встановлено, що стаціонарні системні блоки персональних комп'ютерів у режимі тривалої експлуатації спричиняють зниження концентрації іонів у повітрі нормативного об'єму на один пристрій у середньому на 100 см^{-3} позитивних та 200 см^{-3} негативних іонів, що свідчить про виражений деіонізаційний ефект. Робота лазерних принтерів супроводжується утворенням $750\text{--}1500 \text{ см}^{-3}$ пар іонів, тоді як копіювальні апарати генерують $440\text{--}2800 \text{ см}^{-3}$ пар, що зумовлено особливостями їхніх технологічних процесів. У процесі експлуатації переносних персональних комп'ютерів на поверхнях корпусу та інших полімерних елементах накопичуються електростатичні заряди трибоелектричного походження. Концентрація іонів відновлюється до фонових рівнів на відстані метр–півтора від робочої зони. Для нормалізації іонного складу повітря доцільним є або підвищення відносної вологості до верхніх меж регламенту, або використання засобів штучної іонізації.

Акустичний аналіз роботи вентиляторів системних блоків виявив, що рівні звукового тиску у діапазоні 28–54 дБА визначаються конструктивними параметрами та швидкістю обертання вентиляційних модулів. Отримані спектральні залежності підтверджують домінування низькочастотних складових та інфразвукових коливань у формуванні акустичного навантаження. Значення різниці за лінійною шкалою і шкалою «А» $L_{lin} - L_A$, які досягають 24 дБ, засвідчують істотний внесок інфразвуку, що може потенційно порушувати комфортні умови праці оператора комп'ютерної техніки. Для зниження рівнів низькочастотного звуку та

інфразвуку запропоновано застосовувати акустичні панелі мембранного типу. Розрахунок їх резонансних характеристик здійснюється на основі експериментально отриманих спектрів звуку в октавних чи третинооктавних смугах частот, що забезпечує можливість цілеспрямованої адаптації конструкцій під конкретні акустичні умови.

Дослідження електромагнітних характеристик сучасних моніторів демонструють, що їхні електричні та магнітні поля у встановлених частотних інтервалах відповідають чинним нормативним вимогам. Водночас системні блоки високопродуктивних персональних комп'ютерів формують електричні поля інтенсивністю 17–22 В/м та магнітні поля 220–250 нТл, що наближається до гранично допустимих рівнів. Особливо значні відхилення зафіксовано для джерел безперебійного живлення, магнітні поля яких можуть досягати 2,25 мкТл, істотно перевищуючи нормовані величини, що обумовлює необхідність їх розміщення на відстані не менше метра–півтора від робочого місця. Системи люмінесцентного освітлення генерують низькочастотні електричні та магнітні поля інтенсивністю до 22 В/м та 2,3 мкТл відповідно, що перевищує нормативні значення. Це визначає доцільність переходу на світлодіодні світильники, які істотно знижують рівні електромагнітного впливу.

Список літератури

1. Council Directive 90/270/EEC of 29 May 1990 on the minimum safety and health requirements for work with display screen equipment (fifth individual Directive within the meaning of Article 16 (1) of Directive 89/391/EEC). *Official Journal of the European Union*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/GA/ALL/?uri=CELEX:31990L0270>
2. ISO 9241-3:1992. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 6: Environmental requirements. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:9241:-3:ed-1:v1:en>
3. MPR II. The Swedish government standard for maximum video terminal radiation. URL: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono102.pdf>
4. Standart for TCO'03 Display requirement. The Swedish Confederation of

Professional Employees. Stockholm, 2003. 21 p.
URL:

<http://poradme.se/images/d/d7/Tco03.pdf>

5. Sydorov O.V. Technique of small air ions concentration measurements on workplace of computer operator. *Engineering industry and life safety*. 2014. № 1. PP. 36–41.

6. Rusakova T.I. Method for predicting parameters of the aeroionic mode in open terrain ground areas. *Science and Transport Progress*. 2019, Vol (3(81)). PP. 16–26. <https://doi.org/10.15802/stp2019/170273>

7. Глива В.А. Загальні принципи моніторингу та нормалізації фізичних параметрів виробничого середовища під час експлуатації автоматизованих систем. Проблеми охорони праці в Україні. 2010, Вип.18. С. 112–122.

8. Brodic Darko. Measurement of the extremely low frequency magnetic field in the laptop neighborhood. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (76), 2015, PP. 39–45. DOI: [10.17533/udea.redin.n76a05](https://doi.org/10.17533/udea.redin.n76a05)

9. Akinpelu Akinwumi. Radiation from different parts of laptops. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*. Vol. 8, Issue 5. 2018. PP. 153–160. URL: https://www.researchgate.net/publication/327582431_Radiation_from_different_parts_of_laptops

10. Abiola Olawale Ilori, Omoniyi Ajoke Gbadamosi, Gilbert Akin Ibitola, Olanrewaju Ajanaku. Risk Assessments of Magnetic Field Radiation from AC and Battery Powered Laptop Computers. *American Journal of Science and Technology*. Vol. 6, No. 2, 2019. PP. 14–19. URL: https://www.researchgate.net/publication/352771361_Risk_Assessments_of_Magnetic_Field_Radiation_from_AC_and_Battery_Powered_Laptop_Computers

11. Bolibrukh B., Glyva V., Kasatkina N., Levchenko L., Tykhenko O., Panova O., Bogatov O., Petrunok T., Aznaurian I., Zozulya S. Monitoring and management ion concentrations in the air of industrial and public premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022, vol. 1, № 10(115). PP. 24–30. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253110>

12. Malyeyeva O., Kosenko V., Davydovskyi Y., Boiev, D. (2020) “Factor synergy analysis and merger strategy models in investigation of telecommunication operators’

PERFORMANCE”, *Advanced Information Systems*. 2020, vol. 4(2), PP. 130–136. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.19>

13. Kravchenko V., Knyazev V., Serkov A., Breslavets V., Yakovenko, I. (2019). Electromagnetic compatibility of semiconductor structures with a two-dimensional electron layer. *Advanced Information Systems*. 2019. Vol. 3(4). PP. 132–136. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.20>

References

1. Council Directive 90/270/EEC of 29 May 1990 on the minimum safety and health requirements for work with display screen equipment (fifth individual Directive within the meaning of Article 16 (1) of Directive 89/391/EEC). *Official Journal of the European Union*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/GA/ALL/?uri=CELEX:31990L0270>

2. ISO 9241-3:1992. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 6: Environmental requirements. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:9241:-3:ed-1:v1:en>

3. MPR II. The Swedish government standard for maximum video terminal radiation. URL: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono102.pdf>

4. Standart for TCO'03 Display requirement. The Swedish Confederation of Professional Employees. Stockholm, 2003. 21 p. URL:

<http://poradme.se/images/d/d7/Tco03.pdf>

5. Sydorov O.V. Technique of small air ions concentration measurements on workplace of computer operator. *Engineering industry and life safety*. 2014. № 1. PP. 36–41.

6. Rusakova T.I. Method for predicting parameters of the aeroionic mode in open terrain ground areas. *Science and Transport Progress*. 2019, Vol (3(81)). PP. 16–26. <https://doi.org/10.15802/stp2019/170273>

7. Hlyva, V. A. (2010). General principles of monitoring and normalization of physical parameters of the production environment during the operation of automated systems. *Occupational Safety Problems in Ukraine*, (18), 112–122.

8. Brodic Darko. Measurement of the extremely low frequency magnetic field in the laptop neighborhood. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (76),

2015, PP. 39–45. DOI:
[10.17533/udea.redin.n76a05](https://doi.org/10.17533/udea.redin.n76a05)

9. Akinpelu Akinwumi. Radiation from different parts of laptops. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*. Vol. 8, Issue 5. 2018. PP. 153–160. URL: https://www.researchgate.net/publication/327582431_Radiation_from_different_parts_of_lap_tops

10. Abiola Olawale Pori, Omoniyi Ajoke Gbadamosi, Gilbert Akin Ibitola, Olanrewaju Ajanaku. Risk Assessments of Magnetic Field Radiation from AC and Battery Powered Laptop Computers. *American Journal of Science and Technology*. Vol. 6, No. 2, 2019. PP. 14–19. URL: https://www.researchgate.net/publication/352771361_Risk_Assessments_of_Magnetic_Field_Radiation_from_AC_and_Battery_Powered_Laptop_Computers

11. Bolibrukh B., Glyva V., Kasatkina N., Levchenko L., Tykhenko O., Panova O., Bogatov O., Petrunok T., Aznaurian I., Zozulya

S. Monitoring and management ion concentrations in the air of industrial and public premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022, vol. 1, №. 10(115). PP. 24–30. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253110>

12. Malyeyeva O., Kosenko V., Davydovskiy Y., Boiev, D. (2020) “Factor synergy analysis and merger strategy models in investigation of telecommunication operators’ PERFORMANCE”, *Advanced Information Systems*. 2020, vol. 4(2), PP. 130–136. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.19>

13. Kravchenko V., Knyazev V., Serkov A., Breslavets V., Yakovenko, I. (2019). Electromagnetic compatibility of semiconductor structures with a two-dimensional electron layer. *Advanced Information Systems*. 2019. Vol. 3(4). PP. 132–136. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4>

Бурдейна Наталія Борисівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри фізики, Київський національний університет будівництва і архітектури, (пр. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2812-1387>

E-mail: burdeina.nb@knuba.edu.ua

Глива Валентин Анатолійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фізики, Київський національний університет будівництва і архітектури, (пр. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1257-3351>

E-mail: hlyva.va@knuba.edu.ua

Бірук Яна Ігорівна – доктор філософії, доцент, доцент кафедри фізики, Київський національний університет будівництва і архітектури, (пр. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3669-9744>

E-mail: biruk.iai@knuba.edu.ua

Петруньок Тетяна Броніславівна – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізики, Київський національний університет будівництва і архітектури, (пр. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3261-3296>

E-mail: petrunok.tb@knuba.edu.ua

Григорчук Олександр Михайлович – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізики, Київський національний університет будівництва і архітектури, (пр. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6139-1231>

E-mail: hryhorchuk.om@knuba.edu.ua

ANALYSIS AND NORMALIZATION OF PARAMETERS OF AIR IONIZATION, LOW-FREQUENCY SOUND AND ELECTROMAGNETIC FIELDS IN ROOMS WITH A LARGE NUMBER OF COMPUTERS AND EQUIPMENT

Purpose. To carry out a comprehensive study of the dynamics and normalization of quantitative characteristics of harmful physical factors that are not perceived directly by the senses of users, in rooms and workplaces with a large number of computers and office equipment. This will allow developing measures to ensure regulatory working conditions for users of personal computer equipment.

Methods. Measurements of the concentration of positive and negative air ions, levels of low-frequency sound and infrasound, as well as the intensity of the electric and magnetic induction components of

electromagnetic fields in rooms with a large number of computer equipment. Determination of the dynamics of the values of physical factors of the environment in space and time, analysis of the negative impact of computer equipment and auxiliary devices to determine the conditions and means of their normalization.

Results. An assessment of ion generation by various models of copying equipment and modernized laser printers was carried out. It has been established that the concentration of ions formed can reach 1500 cm^{-3} for laser printers and 2800 cm^{-3} for inkjet printers. It was determined that at a distance of 1.0–1.5 m the concentration of air ions returns to the background level. It is shown that the operation of one system unit is the main above-normal factor during the operation of portable computers, since its electric fields with a strength of up to 9 kV/m lead to a decrease in the concentration of light air ions in the user's area (positive ions by approximately 100 cm^{-3} , and negative ions by 200 cm^{-3}). It was found that the difference between the sound levels registered on the “Lin” and “A” scales is up to 24 dB. This indicates a significant impact of infrasound on the body of users. It was found that modern monitors do not create electromagnetic fields, the intensity of which would exceed hygienically permissible limits. At the same time, system units generate electric fields of 18–22 V/m and magnetic fields of 220–245 nT, which border on the maximum permissible levels. It was found that uninterruptible power supplies and fluorescent lamps create magnetic fields of increased intensity - up to 2250 nT and 2300 nT, respectively. The spectral composition and amplitude of magnetic fields of external power supplies of laptops were studied.

Novelty. The features of the dynamics of the aeroionic composition of air in rooms with a large number of computer equipment, the amplitude-frequency characteristics of low-frequency sound and infrasound, and the features of the amplitude-frequency characteristics of electromagnetic fields were determined, which allowed us to provide recommendations for their normalization and maintenance within the regulatory parameters.

Practical significance. To normalize the concentration of air ions in workplaces, it is necessary to introduce artificial air ionization systems. To reduce the significant impact of infrasound and low-frequency sound on the user's body, it is recommended to use membrane sound-absorbing screens tuned to their resonant frequencies. Justifies the need to introduce systems for reducing the intensity of electrostatic fields in workplaces. To protect against the effects of electromagnetic fields of the wide frequency range, the use of developed and patented materials is recommended.

Keywords: computer, laptop, air ionization, infrasound, low-frequency sound, electromagnetic field

Natalia Burdeina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physics, Kyiv National University of Construction and Architecture, Air Force Ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03037.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2812-1387>

E-mail: burdeina.nb@knuba.edu.ua

Valentyn Glyva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Physics, Kyiv National University of Construction and Architecture, Air Force Ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03037.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1257-3351>

E-mail: hlyva.va@knuba.edu.ua

Yana Biruk, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics, Kyiv National University of Construction and Architecture, 31 Povitryanykh Sil Ave., Kyiv, Ukraine, 03037.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3669-9744>

E-mail: biruk.iai@knuba.edu.ua

Tetiana Petrunok, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics, Kyiv National University of Construction and Architecture, Air Force, 31, Kyiv, Ukraine, 03037.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3261-3296>

E-mail: petrunok.tb@knuba.edu.ua

Oleksandr Hryhorchuk, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics, Kyiv National University of Construction and Architecture, Air Force Ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03037.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6139-1231>

E-mail: hryhorchuk.om@knuba.edu.ua