

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

*Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису*

Зозуля Сергій Васильович

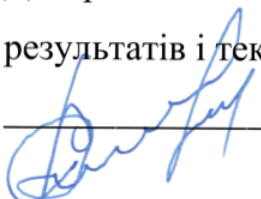
УДК 331.453:613.155 (043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ
ЗАСОБИ І ЗАХОДИ КОНТРОЛЮ ТА НОРМАЛІЗАЦІЇ АЕРОІОННОГО
СКЛАДУ ПОВІТРЯ ВИРОБНИЧИХ І НАВЧАЛЬНИХ ПРИМІЩЕНЬ

Спеціальність 05.26.01 – охорона праці
технічні науки
Галузь знань 26 – Цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 С. В. Зозуля

Науковий керівник: Глива Валентин Анатолійович, доктор технічних наук,
професор

КИЇВ 2023

АНОТАЦІЯ

Зозуля С. В. ЗАСОБИ І ЗАХОДИ КОНТРОЛЮ ТА НОРМАЛІЗАЦІЇ АЕРОІОННОГО СКЛАДУ ПОВІТРЯ ВИРОБНИЧИХ І НАВЧАЛЬНИХ ПРИМІЩЕНЬ. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – охорона праці. Національний авіаційний університет, Київ, 2023.

Дисертаційна робота присвячена розробленню комплексного підходу до забезпечення нормативних концентрацій аероіонів у повітрі виробничих та навчальних приміщень. Концентрації аероіонів є важливим показником якості повітряного середовища, а деіонізоване повітря негативно впливає на здоров'я та працездатність людей.

У сучасних приміщеннях існують численні чинники деіонізації повітря. Це системні блоки персональних комп'ютерів, переносні комп'ютери, split-системи охолодження повітря тощо. Генерація іонів технологічним обладнанням, як і деіонізація повітря електростатичними зарядами, є непередбачуваною за кількістю і полярністю. Крім того, на концентрації аероіонів впливають статичні заряди, які накопичуються на полімерних поверхнях внаслідок трибоелектричних ефектів. На сьогодні невирішеною залишається задача поширення аероіонів у приміщенні з забезпеченням нормативних концентрацій в усіх критичних зонах. Вирішення цієї задачі можливе за рахунок постійного контролю (моніторингу) аероіонного складу повітря виробничих і навчальних приміщень та вчасного застосування заходів щодо їх нормалізації.

Тому дослідження, присвячені впливу факторів виробничого середовища на концентрації аероіонів у повітрі виробничих та навчальних приміщеннях є актуальними та надають можливість раціоналізувати розміщення меблів, обладнання та робочих місць у приміщеннях. Також результати досліджень дозволяють прогнозувати та вчасно застосувати заходи щодо нормалізації

аероіонного складу повітря у комплексі заходів з нормалізації фізичних факторів виробничого середовища.

Наукова новизна отриманих результатів визначається комплексним підходом до забезпечення нормативних концентрацій аероіонів у повітрі виробничих та навчальних приміщень, а саме:

Вперше:

– експериментально визначено усі критичні чинники іонізації та деіонізації повітря у приміщеннях різного призначення. Показано, що системи охолодження повітря деіонізують повітря (за зниження температури повітря на 4 оС, відносної вологості на 6 % зниження концентрацій позитивних та негативних аероіонів складає від 20 до 70 %). За зміни напруженості електричного поля поверхневих електростатичних зарядів від 0,2 до 5,0 кВ/м концентрації аероіонів знижуються на 40–60 %. Ультразвукові зволожувачі повітря та лазерні принтери підвищують концентрації аероіонів на 30–40 % (радіус впливу – 1,0–1,5 м);

– науково обґрунтовано і досліджено ефективність біполярного ультразвукового іонізатора повітря, який відрізняється від відомих аналогів відсутністю побічних несприятливих впливів та можливістю регулювання переважної полярності у залежності від фактичного стану повітря у приміщенні та ззовні. Іонізатор гарантовано нормалізує концентрації аероіонів на відстані 5 метрів.

Удосконалено:

– методичні засади визначення чинників деіонізації повітря при експлуатації комп'ютерної техніки. Один системний блок персонального комп'ютера деіонізує повітря у нормативному об'ємі 20 м³ на 100–200 см³. Головним чинником деіонізації при експлуатації переносних комп'ютерів є електростатичні поля (радіус впливу 0,5–0,6 м).

Набули подальшого розвитку:

– методи прогнозування аероіонного складу повітря залежно від продуктивності джерел іонізації/деіонізації повітря, що дозволяє раціонально розміщувати технічні засоби у виробничих приміщеннях із забезпеченням

нормативних аероіонних режимів, нейтралізувати поверхневі електростатичні заряди та знизити концентрації дрібнодисперсного пилу й аерозолей у повітрі.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

- кількісні дані щодо джерел іонізації/деіонізації повітря виробничих та навчальних приміщень надають змогу однозначно визначати перелік та зміст організаційно - технічних заходів нормалізації та підтримання на нормативному рівні концентрацій аероіонів обох полярностей;

- визначено напруженості електричних полів поверхневих електростатичних зарядів та їх розрахункове прогнозування, що надає можливість обрати режим природної або штучної іонізації повітря, яке забезпечить нейтралізацію зарядів;

- отримано дані щодо ступенів іонізації повітря стаціонарних та переносних персональних комп'ютерів, що дозволяє раціоналізувати розміщення комп'ютерного обладнання у виробничих та навчальних приміщеннях із забезпеченням нормативних значень фізичних факторів середовища.

- розроблено та впроваджено біполярний іонізатор повітря, який дозволяє одночасно забезпечити нормативні значення концентрацій аероіонів обох полярностей, нейтралізувати електростатичні заряди та знизити концентрації дрібнодисперсного пилу в повітрі.

Практична значимість результатів дослідження підтверджена актами впровадження на підприємствах.

Результати дослідження впроваджені на ДП «Антонов», в Авіаційному медичному центрі Національного авіаційного університету та у навчальному процесі Національного авіаційного університету при викладанні дисципліни «Основи охорони праці» для здобувачів вищої освіти ОС «Бакалавр» спеціальності 263 «Цивільна безпека», що підтверджено відповідними актами впровадження.

Ключові слова: аероіони, електростатичне поле, трибоелектричний ефект, деіонізація, іонізатор повітря.

Список публікацій здобувача

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Зозуля С. В., Глива В. А., Матвеева І. В., Зозуля Л. А. Дослідження захисних властивостей залізвмісного композиту для екранування рентгенівських випромінювань. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2021. Т. 3 (65). С. 123–125. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.3.123>.

2. Глива В. А., Халмурадов Б. Д., Кашперський В. Є., Панова О. В., Бірук Я. І., Зозуля С. В. Методологічний підхід до оцінювання ризиків впливу фізичних факторів техногенного походження в умовах невизначеності. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2021. Т. 1 (63). С. 123–125. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.1.123>.

3. Bolibrukh V., 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. 1(10(115)). P. 24–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253110>. (Scopus).

4. Глива В. А., Бурдейна Н. Б., Зозуля С. В. Дослідження динаміки аероіонного складу повітря на робочому місці користувача персонального комп'ютера з урахуванням електромагнітних чинників. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2022. Т. 2 (68). С. 99–101. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.099>.

5. Фролов В. Ф., Панова О. В., Зозуля С. В. Прогнозування аероіонного складу повітря за наявності природних і штучних джерел іонізації. *Комунальне господарство міст*. 2022. 1 (168), С. 129–133. DOI: <https://doi.org/0.33042/2522-1809-2022-1-168-129-133>

6. Глива В. А., Тихенко О. М., Зозуля С. В., Козлітін О. О. Дослідження впливу електростатичних полів на концентрації аероіонів на комп'ютеризованих робочих місцях. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2023. Т. 2 (72). С. 179–182. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.2.179>

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Тихенко О. М., Зозуля Л. А., Зозуля С. В. Обґрунтування особливостей екранування електромагнітного випромінювання ультрависоких і вищих частот. *Актуальні проблеми безпеки на транспорті, енергетики, інфраструктури: матеріали I міжнар. наук.-практ. конф., 8-11 вересня 2021 р. Херсон, 2021. С. 146–149.*

8. Глива В. А., Бурдейна Н. Б., Зозуля С. В. Моніторинг і нормалізація аероінного складу повітря службових приміщень аеропортів. «*Безпека в авіації та космічні технології*»: матеріали X Всесвітнього конгресу «Авіація у XXI столітті», Національний авіаційний університет, Київ, 28-30 вересня 2022 р. С. 4.1.30–4.1.34.

9. Tykhenko O., Burdeina N., Zozulya S. Determination of the patterns of the climate parameters effect on the indoor air quality. *Proceedings of IX International Scientific and Practical Conference «Eurasian scientific discussions», September 25-27, 2022. Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2022. PP. 65–70.*

10. Тихенко О. М., Бурдейна Н. Б., Зозуля С. В. Дослідження закономірностей поширення аероіонів у приміщеннях. *Proceedings of IX International scientific and practical conference «Innovations and prospects in modern science». August 28-30, 2023. Stockholm, Sweden. 2023. PP. 77–82.*

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

11. Спосіб виготовлення композиційного матеріалу для екранування рентгенівського випромінювання: патент 149958, Україна МПК 2021.01, H05R 9/00. G12D 17/02 (2006.01). № u 2021 04648; заявл. 12.08.2021; опубл. 16.12.2021, Бюл. № 50.

ABSTRACT

Zozulya S. V. Instruments and measures of control and normalization of the aeroionic composition of the air in production and educational premises. – Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.26.01 - labor protection. National Aviation University, Kyiv, 2023.

The dissertation is devoted to the development of a comprehensive approach to provision of regulatory concentrations of aeroions in the air of industrial and educational premises. Aeroion concentrations are an important indicator of the quality of the air environment, and deionized air has a negative effect on people's health and work capacity.

In modern premises, there are numerous factors of air deionization. These are system units of personal computers, portable computers, split air cooling systems, etc. The generation of ions by technological equipment, as well as the deionization of air by electrostatic charges, is unpredictable in terms of quantity and polarity. In addition, the concentration of air ions is affected by static charges that accumulate on polymer surfaces due to triboelectric effects. To date, the problem of spreading aeroions in the room with the provision of regulatory concentrations in all critical zones remains unsolved. Solving this problem is possible due to constant control (monitoring) of the aeroionic composition of air in industrial and educational premises and timely application of measures for their normalization.

Therefore, studies devoted to the influence of factors of the industrial environment on the concentration of aeroions in the air in industrial and educational premises are relevant and provide an opportunity to rationalize the placement of furniture, equipment and workplaces in the premises. Also, the research results make it possible to predict and apply measures to normalize the aeroionic composition of the air in a complex of measures to normalize the physical factors of the production environment.

The scientific novelty of the obtained results is determined by a comprehensive approach to ensuring standard concentrations of aeroions in the air of industrial and educational premises, namely:

- for the first time, all critical factors of air ionization and deionization in rooms of various purposes were determined experimentally. It is shown that air cooling systems deionize air (for a decrease in air temperature by 4 °C, relative humidity by 6%, the concentration of positive and negative aeroions decreases from 20 to 70%). When the electric field strength of surface electrostatic charges changes from 0,2 to 5,0 kV/m, the concentration of aeroions decreases by 40–60 %. Ultrasonic air humidifiers and laser printers increase the concentration of air ions by 30–40 % (radius of influence – 1,0–1,5 m);

- for the first time, the effectiveness of the bipolar ultrasonic air ionizer, which differs from known analogues in the absence of adverse side effects and the possibility of regulating the predominant polarity depending on the actual state of the air indoors and outdoors, has been scientifically substantiated and investigated. The ionizer is guaranteed to normalize the concentration of air ions at a distance of 5 meters;

- the methodical principles of determining the factors of air deionization during the operation of computer equipment have been improved. One system unit of a personal computer deionizes air in a standard volume of 20 m³ per 100–200 cm³. The main factor of deionization during the operation of portable computers is electrostatic fields (radius of influence 0,5–0,6 m);

- the methods of forecasting the aeroionic composition of the air depending on the productivity of air ionization/deionization sources have gained further development, which allows for the rational placement of technical equipment in production facilities with the provision of normative aeroionic regimes, to neutralize surface electrostatic charges and to reduce the concentration of fine dust and aerosols in the air.

The practical significance of the obtained results is as follows:

- quantitative data on the sources of air ionization/deionization of industrial and educational premises make it possible to unambiguously determine the list and content

of organizational and technical measures to normalize and maintain concentrations of aeroions of both polarities at a normative level;

- electric field strengths of surface electrostatic charges are determined and their calculated forecasting, which makes it possible to choose the mode of natural or artificial air ionization, which will ensure the neutralization of charges;

- received data on the degrees of air ionization of stationary and portable personal computers, which allows rationalizing the placement of computer equipment in industrial and educational premises with the provision of normative values of physical factors of the environment.

- a bipolar air ionizer was developed and implemented, which allows to simultaneously ensure the normative values of concentrations of air ions of both polarities, neutralize electrostatic charges and reduce the concentration of fine dust in the air.

The practical significance of the research results is confirmed by acts of implementation at enterprises.

The results of the study were implemented at the State Enterprise «Antonov», in the Aviation Medical Center of the National Aviation University and in the educational process of the National Aviation University in the teaching of the discipline «Fundamentals of Occupational Safety» for students of higher education of the OS «Bachelor» in the specialty 263 «Civil Security», which is confirmed by the relevant acts implementation

Key words: aeroions, electrostatic field, triboelectric effect, deionization, air ionizer.

References

Works in which the main scientific results of the dissertation are published

1. Zozulia S. V., Hlyva V. A., Matvieieva I. V., Zozulia L. A. Doslidzhennia zakhysnykh vlastyvostei zalizovmisnoho kompozytu dlia ekranuvannia renthenivskykh vyprominiuvan. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*. 2021. T. 3 (65). S. 123–125. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.3.123>.

2. Hlyva V. A., Khalmuradov B. D., Kashperskyi V. Ye., Panova O. V., Biruk Ya. I., Zozulia S. V. Metodolohichni pidkhid do otsiniuvannia ryzykiv vplyvu fizychnykh faktoriv tekhnohennoho pokhodzhennia v umovakh nevyznachenosti. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*. 2021. T. 1 (63). S. 123–125. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.1.123>.

3. 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. 1(10(115)). P. 24–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253110>. (*Scopus*).

4. Hlyva V. A., Burdeina N. B., Zozulia S. V. Doslidzhennia dynamiky aeroionnoho skladu povitria na robochomu misti korystuvacha personalnoho kompiutera z urakhuvanniam elektromahnitnykh chynnykiv. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*. 2022. T. 2 (68). S. 99–101. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.099>.

5. Frolov V. F., Panova O. V., Zozulia S. V. Prohnozuvannia aeroionnoho skladu povitria za naiavnosti pryrodnykh i shtuchnykh dzherel ionizatsii. *Komunalne hospodarstvo mist*. 2022. 1 (168), S. 129–133. DOI: <https://doi.org/0.33042/2522-1809-2022-1-168-129-133>

6. Hlyva V. A., Tykhenko O. M., Zozulia S. V., Kozlitin O. O. Doslidzhennia vplyvu elektrostatychnykh poliv na kontsentratsii aeroioniv na kompiuteryzovanykh robochykh mistsiakh. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*. 2023. T. 2 (72). S. 179–182. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.2.179>

Papers certifying the approval of the dissertation materials

7. Tykhenko O. M., Zozulia L. A., Zozulia S. V. Obgruntuvannia osoblyvostei ekranuvannia elektromahnitnoho vyprominiuvannia ultravysokykh i vyshchykh chastot. Aktualni problemy bezpeky na transporti, enerhetyky, infrastruktury: materialy I mizhnar. nauk.-prakt. konf., 8-11 veresnia 2021 r. Kherson, 2021. S. 146–149.

8. Hlyva V. A., Burdeina N. B., Zozulia S. V. Monitorynh i normalizatsiia aeroionnoho skladu povitria sluzhbovykh prymishchen aeroportiv. «Bezpeka v aviatsii ta kosmichni tekhnologii»: materialy X Vsesvitnoho konhresu «Aviatsiia u KhKhI stolitti» –, Natsionalnyi aviatsiinyi universytet, Kyiv, 28-30 veresnia 2022 r. S. 4.1.30–4.1.34.

9. Tykhenko O., Burdeina N., Zozulya S. Determination of the patterns of the climate parameters effect on the indoor air quality. *Proceedings of IX International Scientific and Practical Conference «Eurasian scientific discussions»*, September 25-27, 2022. Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2022. PP. 65–70.

10. Tykhenko O. M., Burdeina N. B., Zozulia S. V. Doslidzhennia zakonomirnostei poshyrennia aeroioniv u prymishchenniakh. *Proceedings of IX International scientific and practical conference «Innovations and prospects in modern science»*. August 28-30, 2023. Stockholm, Sweden. 2023. RR. 77–82.

Works that additionally reflect the scientific results of the dissertation

11. Sposib vyhotovlennia kompozytsiinoho materialu dlia ekranuvannia renthenivskoho vyprominiuvannia: patent 149958, Ukraina MPK 2021.01, N05R 9/00. G12D 17/02 (2006.01). № u 2021 04648; zaiavl. 12.08.2021; opubl. 16.12.2021, Biul. № 50.

ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	14
ГЛОСАРІЙ.....	15
ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПРИКЛАДНИХ РОЗРОБОК З КОНТРОЛЮ ТА НОРМАЛІЗАЦІЇ АЕРОІОННОГО СКЛАДУ ПОВІТРЯ У ВИРОБНИЧИХ ТА НАВЧАЛЬНИХ ПРИМІЩЕННЯХ	23
1.1. Концентрація аероіонів як санітарно-гігієнічний фактор середовища та оцінка їх впливу на організм працюючих	23
1.2. Існуючі підходи до нормування та прогнозування концентрацій аероіонів	24
1.3. Нормалізація концентрації аероіонів	28
1.4. Методи та засоби забезпечення вимірювань концентрації аероіонів	30
1.5. Сучасний стан питання та постановка задач дослідження	33
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ АЕРОІОНІВ ТА РІВНІВ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА	35
2.1. Методика вимірювання концентрацій аероіонів.....	35
2.2. Методики вимірювання кількісних значень фізичних факторів виробничого середовища.....	38
2.3. Методика визначення ступеня ефективності щодо заходів нормалізації аероіонного складу повітря.....	39
Висновки до розділу 2.....	43
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА НА КОНЦЕНТРАЦІЇ АЕРОІОНІВ	44
3.1. Дослідження впливу мікрокліматичних параметрів середовища на концентрації аероіонів у повітрі	44
3.2. Дослідження динаміки аероіонного складу повітря на робочих місцях, з урахуванням чинників деіонізації.....	52

3.3. Дослідження впливу користувача комп'ютера на концентрацію аероіонів у повітрі робочої зони.....	59
3.4. Дослідження динаміки аероіонів у навчальних приміщеннях	79
Висновки до розділу 3.....	83
РОЗДІЛ 4. ЗАСОБИ І ЗАХОДИ НОРМАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕНТРАЦІЙ АЕРОІОНІВ У ПОВІТРІ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА	85
4.1. Прогнозування аероіонного режиму приміщень у залежності від факторів іонізації та деіонізації повітря	85
4.2. Нормалізація концентрацій аероіонів у комплексі заходів з нормалізації фізичних факторів виробничого середовища.....	90
4.3. Розроблення та тестування біполярного ультразвукового іонізатора повітря	95
4.4. Впровадження результатів досліджень та їх ефективність	104
Висновки до розділу 4.....	106
ВИСНОВКИ.....	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	110
ДОДАТОК А. Методика виконання вимірювань концентрації аероіонів у повітрі приміщень лічильником аероіонів «Сапфір-3К».....	122
ДОДАТОК Б. Документи, що підтверджують впровадження результатів досліджень.....	127

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОП	– охорона праці
ЕСП	– електростатичне поле
ПК	– персональний комп'ютер
БФП	– багатофункціональний пристрій

ГЛОСАРІЙ

Аероіон	електрично заряджена частинка у повітрі розмірами починаючи від розмірів молекулярних іонів до розмірів, що характерні для заряджених частинок атмосферного аерозолю.
Деіонізація повітря	процес зникнення іонів повітря, а також електронів з об'єму, який зайнятий повітрям.
Персональний комп'ютер (ПК)	це електронний пристрій, який призначений для здійснення заданої, чітко визначеної послідовності дій з обробки інформації.
Електростатичне поле (ЕСП)	електричне поле нерухомих зарядів.
Електростатичне поле трибоелектричного походження	електричне поле нерухомих зарядів, що виникають на поверхні тіл при їх терті один об одного.
Зона дихання користувача ПК	простір в радіусі до 50 см від обличчя користувача ПК.
Іон	атом або група атомів, що мають заряд.
Іонізація повітря	перетворення електрично нейтральних атомних частинок (атомів, молекул) повітря у позитивні іони та вільні електрони в результаті вилучення з них одного або кількох електронів.
Легкий аероіон	аероіон з рухливістю вище $0,4 \text{ см}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$.
Нормалізація аероіонного складу повітря	приведення концентрації легких аероіонів у відповідність зі встановленими нормами.

Оператор ПК

працівник, який використовує екранні пристрої ПК під час своєї роботи.

Офісні приміщення

адміністративні виробничі приміщення, де працюючі зайняті переважно розумовою (нефізичною) працею з активним використанням персональних комп'ютерів.

Робоче місце**користувача ПК**

сукупність устаткування, яке включає екранний пристрій та може бути доповнене клавіатурою, а також програмним забезпеченням, що служить інтерфейсом між користувачем і комп'ютером. До цього устаткування також входять інші пристрої, телефон, модем, друкувальний пристрій, тримач документів, робоче крісло і робочий стіл або робоча поверхня, а також необхідне виробниче середовище.

ВСТУП

Актуальність теми. Аероіонізація повітря є важливим показником стану виробничого середовища промислових підприємств, адміністративних будівель та приміщень закладів освіти. Особливістю цього фізичного фактора впливу на самопочуття та працездатність людей є залежність концентрацій аероіонів від функціонування технологічного обладнання у приміщенні, яке може бути чинником іонізації та деіонізації повітря, будівельних та оздоблювальних матеріалів, що використовуються, тощо. В останні роки спостерігається тенденція швидкого оновлення комп'ютерної техніки та іншого електронного та електричного обладнання, застосування сучасних оздоблювальних матеріалів. У результаті попередні дослідження щодо формування аероіонного складу повітря виробничих та навчальних приміщень вимагають уточнення.

На сьогодні відсутні дані щодо впливу на концентрації аероіонів сучасних систем охолодження повітря, компонентів комп'ютерної техніки тощо. Не з'ясовано вплив оздоблювальних полімерних матеріалів, поверхонь офісних меблів, підлогових покриттів, виготовлених з різних матеріалів. Враховуючи значну деіонізацію атмосферного повітря, широко застосовується штучна аероіонізація повітря. Традиційні високовольтні іонізатори не відповідають сучасним потребам через неконтрольовану генерацію сполук азоту і озону шкідливих концентрацій. Потребує наукового обґрунтування та розроблення іонізатор повітря, який не продукуватиме побічних речовин, регулюватиме полярність іонізації і буде придатний для створення нормативних концентрацій аероіонів з урахуванням кількісних показників співвідношення полярностей. Наведене обумовлює тему дисертаційного дослідження як актуального науково-практичного завдання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно із законом України від 4 квітня 2013 року №178–VII «Про затвердження загальнодержавної соціальної програми поліпшення стану безпеки гігієни праці та виробничого середовища на 2014–

2018 роки», згідно розпорядження КМУ від 12 грудня 2018 року № 989-р «Про схвалення концепції реформування системи управління охороною праці в Україні та затвердження плану заходів щодо її реалізації». Наукові результати викладені у дисертації, отримані у рамках виконання бюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України: № 130-ДБ17 «Перспективні матеріали з керованими віброакустичними та електромагнітними характеристиками для зниження рівнів техногенних фізичних полів», 2017–2018 рр. (№ ДР 0117U002370) та «Дослідження фізичних факторів техногенного походження, виробничих ризиків та засобів їх зниження», 2020–2023 рр. (№ ДР 0I2IU111535) у яких автор був співвиконавцем.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є наукове обґрунтування, розроблення та впровадження засобів і заходів нормалізації аероіонного складу повітря у виробничих та навчальних приміщеннях.

Для досягнення поставленої мети сформульовано й вирішено наступні завдання:

- дослідити динаміку аероіонного складу повітря у виробничих та навчальних приміщеннях з урахуванням наявності найбільш поширених технічних засобів та присутності/відсутності людей;

- дослідити вплив систем охолодження, зволоження повітря на аероіонний склад повітря;

- дослідити вплив електростатичних полів на аероіонний склад повітря;

- розробити методологію прогнозування аероіонного складу повітря для проектування комплектації виробничих та навчальних приміщень обладнанням за різних вихідних умов;

- обґрунтувати та розробити біполярний іонізатор повітря, який не має побічних несприятливих впливів на працюючих.

Об`єкт дослідження – процеси іонізації (деіонізації) повітря виробничих та навчальних приміщень.

Предмет дослідження – закономірності змін концентрацій аероіонів обох полярностей у повітрі приміщень різного призначення, їх залежності від

інтенсивності процесів іонізації та деіонізації повітря і визначення умов нормалізації аероіонних режимів приміщень.

Методи досліджень. Методологічну основу вирішення поставлених задач досліджень складає комплексний підхід із залученням: методів аналізу та узагальнення науково-технічних досягнень і літературних джерел із тематики досліджень; натурних вимірювань концентрацій аероіонів; розрахункових методів визначення кількісних характеристик для оцінювання та прогнозування концентрацій аероіонів у повітрі робочого середовища; математичної статистики для оброблення результатів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів визначається комплексним підходом до забезпечення нормативних концентрацій аероіонів у повітрі виробничих та навчальних приміщень, а саме:

- *вперше* експериментально визначено усі критичні чинники іонізації та деіонізації повітря у приміщеннях різного призначення. Показано, що системи охолодження повітря деіонізують повітря (за зниження температури повітря на 4 °С, відносної вологості на 6 % зниження концентрацій позитивних та негативних аероіонів складає від 20 до 70 %). За зміни напруженості електричного поля поверхневих електростатичних зарядів від 0,2 до 5,0 кВ/м концентрації аероіонів знижуються на 40–60 %. Ультразвукові зволожувачі повітря та лазерні принтери підвищують концентрації аероіонів на 30–40 % (радіус впливу – 1,0–1,5 м);

- *вперше* науково обгрунтовано і досліджено ефективність біполярного ультразвукового іонізатора повітря, який відрізняється від відомих аналогів відсутністю побічних несприятливих впливів та можливістю регулювання переважної полярності у залежності від фактичного стану повітря у приміщенні та ззовні. Іонізатор гарантовано нормалізує концентрації аероіонів на відстані 5 метрів.

- *удосконалено* методичні засади визначення чинників деіонізації повітря при експлуатації комп'ютерної техніки. Один системний блок персонального комп'ютера деіонізує повітря у нормативному об'ємі 20 м³ на 100–200 см³.

Головним чинником деіонізації при експлуатації переносних комп'ютерів є електростатичні поля (радіус впливу 0,5–0,6 м);

- *набули подальшого розвитку* методи прогнозування аероіонного складу повітря залежно від продуктивності джерел іонізації/деіонізації повітря, що дозволяє раціонально розміщувати технічні засоби у виробничих приміщеннях із забезпеченням нормативних аероіонних режимів, нейтралізувати поверхневі електростатичні заряди та знизити концентрації дрібнодисперсного пилу й аерозолей у повітрі.

Практичне значення отриманих результатів:

- кількісні дані щодо джерел іонізації/деіонізації повітря виробничих та навчальних приміщень надають змогу однозначно визначати перелік та зміст організаційно - технічних заходів нормалізації та підтримання на нормативному рівні концентрацій аероіонів обох полярностей;

- визначено напруженості електричних полів поверхневих електростатичних зарядів та їх розрахункове прогнозування, що надає можливість обрати режим природної або штучної іонізації повітря, яке забезпечить нейтралізацію зарядів;

- отримано дані щодо ступенів іонізації повітря стаціонарних та переносних персональних комп'ютерів, що дозволяє раціоналізувати розміщення комп'ютерного обладнання у виробничих та навчальних приміщеннях із забезпеченням нормативних значень фізичних факторів середовища.

- розроблено та впроваджено біполярний іонізатор повітря, який дозволяє одночасно забезпечити нормативні значення концентрацій аероіонів обох полярностей, нейтралізувати електростатичні заряди та знизити концентрації дрібнодисперсного пилу в повітрі.

Практична значимість результатів дослідження підтверджена актами впровадження на підприємствах. Результати дослідження впроваджені на ДП «Антонов», в Авіаційному медичному центрі Національного авіаційного університету та у навчальному процесі Національного авіаційного університету при викладанні дисципліни «Основи охорони праці» для здобувачів вищої освіти

ОС «Бакалавр» спеціальності 263 «Цивільна безпека», що підтверджено відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві:

[2] – аналіз особливостей впливу аероіонів на організм людини;

[3] – аналіз чинних санітарних норм з допустимих рівнів іонізації повітря у приміщеннях;

[8, 9, 10] – оцінка рівнів іонізації повітря виробничих приміщень;

[6] – оцінка впливу засобів комп'ютерної техніки на концентрацію аероіонів;

[3] – проведення вимірювань, обробка результатів вимірювання та аналіз впливу електростатичних полів комп'ютерної техніки на концентрацію аероіонів;

[4, 5] – розробка математичного апарату та прогнозування аероіонного складу повітря;

[1, 7, 11] – обґрунтування особливостей нормалізації аероіонного складу повітря робочої зони;

[3] – розробка іонізатора повітря.

Апробація результатів роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на наукових конференціях: I міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми безпеки на транспорті, енергетики, інфраструктури» (Херсон, 2021 р.); X Всесвітньому конгресі «Авіація у XXI столітті» – «Безпека в авіації та космічні технології» (Київ, 2022 р.); IX International Scientific and Practical Conference «Eurasian scientific discussions» (Barcelona, Spain, 2022).

Результати дисертаційної роботи були заслухані та обговорені на наукових семінарах кафедри цивільної та промислової безпеки в Національному авіаційному університеті (м. Київ).

Публікації. Основні положення та результати дисертаційної роботи відображено у 10 публікаціях. У тому числі 1 – у науковому фаховому виданні, що занесене до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, 5 статей у

наукових фахових виданнях України, 4 матеріалів і тез доповідей на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях. Отримано 1 патент України.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел 102 найменування на 12 сторінках і 2 додатки, містить 28 рисунків, 21 таблиці. Загальний обсяг роботи становить 130 сторінок друкованого тексту, у тому числі 109 сторінок основного тексту.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПРИКЛАДНИХ РОЗРОБОК З КОНТРОЛЮ ТА НОРМАЛІЗАЦІЇ АЕРОІОННОГО СКЛАДУ ПОВІТРЯ У ВИРОБНИЧИХ ТА НАВЧАЛЬНИХ ПРИМІЩЕННЯХ

1.1. Концентрація аероіонів як санітарно-гігієнічний фактор середовища та оцінка їх впливу на організм працюючих

Концентрації аероіонів нормуються у виробничих умовах національним та міжнародним стандартом [1, 2]. Це пояснюється впливом аероіонів різних концентрацій на стан здоров'я працюючих [3–6]. Встановлено, що деіонізація повітря знижує працездатність людей, впливає на дихальну, серцево-судинну систему, насичення крові гемоглобіном тощо. Але результати гігієнічних досліджень мають певні розходження, тому у національному стандарті [1] мінімально допустима концентрація негативних аероіонів встановлена на рівні 600 іон/см^{-3} , позитивних – 400 іон/см^{-3} , а у міжнародному – 500 іон/см^{-3} кожного знака.

У класичних дослідженнях було продемонстровано використання аероіонізації у виробничій сфері [7–8]. В Україні вважається, що помірно підвищена концентрація негативних аероіонів сприяє поліпшенню стану здоров'я, що підтверджується частиною класичних досліджень [9–12]. У дослідженні [3] було показано позитивний вплив негативних аероіонів на здоров'я працюючих, особливо в контексті підвищення протизапальних процесів, зменшення запалення і антиоксидантної дії. Було доведено, що наявність негативних аероіонів сприяє покращенню психологічного здоров'я, продуктивності та загального самопочуття. Крім того, встановлено, що наявність негативних аероіонів полегшує симптоми алергії на пил, спори цвілі та інші алергени.

В той же час відмічається і несприятливий вплив аероіонів певних концентрацій на людей [13–14].

1.2. Існуючі підходи до нормування та прогнозування концентрацій аероіонів

На сьогодні вважається, що у більшості виробничих умов головними чинниками деіонізації повітря є комп'ютерна техніка та допоміжні пристрої [15–22]. Але ці дослідження, певним чином, застаріли. Причиною цього є практично повна заміна парку комп'ютерного і допоміжного обладнання [23–27].

В останні роки відбулося підвищення усвідомлення процесів іоноутворення – деіонізації [28–34]. Превелюючим способом штучної іонізації повітря вважалися іонізатори, суміщені з ситемами вентиляції приміщень та будівель. Але у цьому випадку виникає низка проблем. Згідно чинних будівельних норм з вентиляції будівель і споруд, передбачено виготовлення повітроводів з металевих та полімерних матеріалів [35]. Не вказуються матеріали, з яких вони виготовляються. Металеві повітроводи зі звичайних міркувань загальної фізики повинні поглинати позитивні іони через наявність великої кількості вільних електронів провідності. Системи очищення повітря суміщені з вентиляторами примусової вентиляції теж сприяють деіонізації повітря, а розробки щодо фільтрів, які не впливають на іонізацію, не виробляються серійно. Повітроводи виготовлені з полімерних матеріалів, заздалегідь схильні до електризації через пропускання потоків сухого повітря. На сьогодні полімерними матеріалами, що не електризуються є тефлони та поліаміди, які не можна використовувати для виготовлення повітроводів через їх високу вартість.

У роботах, де розглядають аероіони у приміщеннях з персональними комп'ютерами (ПК), вказується, що причиною їх низької концентрації є вплив людини (користувача ПК), електромагнітних та електростатичних полів, аерозолів [36–43]. Однак, нічого конкретного не вказується про вагомість внеску у деіонізацію повітря кожного з цих чинників.

Перебування людини у приміщенні, що може бути причиною деіонізації повітря, було розглянуто у роботах О. Л. Чижевського, Ю. Д. Губернського, О. О. Мінха, С. Р. Yaglou, В. Maczyfiski [44–48]. Зокрема, Ю. Д. Губернський

проводив спостереження у приміщенні з людьми, де було виявлено зниження повітрообміну нижче необхідного рівня, при якому переважали легкі позитивні аероіони над негативними, а також спостерігалось значне переважання важких аероіонів над легкими. У своїх спостереженнях О. О. Мінх відзначав зниження концентрацій легких аероіонів та збільшення концентрацій важких аероіонів в аудиторіях під час проведення занять зі студентами. О. Л. Чижевський також спостерігав зниження концентрацій легких аероіонів у приміщенні з 8 людьми без повітрообміну. Аналогічні результати в герметичній камері з 7 людьми отримав С. Р. Yaglou. У роботі В. Maczyfiski також було зафіксовано зниження концентрацій легких аероіонів протягом робочого дня в офісному приміщенні. Однак результати вищевказаних досліджень важко застосувати при аналізі впливу користувачів ПК на концентрацію аероіонів через кілька недоліків. Перш за все тому, що у деяких дослідженнях було зазначено загальні концентрації позитивних та негативних аероіонів, тоді як у інших були вказані лише концентрації негативних аероіонів. Крім того, фонові концентрації в усіх випадках не перевищували 300 іонів/см³, що свідчить про наявність інших факторів деіонізації, окрім безпосереднього впливу людини (людей), який не був врахований або усунутий. Крім того, зміни концентрацій аероіонів у деяких дослідженнях були незначними, а в роботі [49] не перевищували похибку вимірювання. Слід зазначити, що на відміну від усіх вказаних робіт, де основною причиною деіонізації повітря вважається надходження важких аероіонів та аерозолів у повітря внаслідок дихання людини, існує альтернативна думка. У роботі [49] висунуто припущення, що причиною є адсорбція аероіонів поверхнею тіла та одягом людини, а також продукування електростатичних зарядів на поверхнях внаслідок діяльності людей, а не надходження важких аероіонів із повітрям, що видихається людиною. Підставою для цього припущення було посилення на результати досліджень, якими було доведено, що повітря, яке видихає людина не містить іонів з рухливістю $k \leq 0,006 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

Результати досліджень у роботах, де визначались концентрації аероіонів при функціонуванні комп'ютерної техніки [36–43], загалом свідчать про низьку

концентрацію легких аеріонів у виробничому приміщенні, яка є нижчою за мінімально необхідну, відповідно до санітарно-гігієнічних норм. Проте, у роботі [39] визначені випадки повної відсутності аеріонів у зоні дихання оператора ПК. Але у роботі [42] зазначається, що у зоні дихання користувача ПК, як правило, концентрація позитивних іонів близька до оптимальної.

За результатами досліджень, що наведені у роботі [43], встановлено, що рідкокристалічні монітори меншою мірою впливають на зменшення концентрації аеріонів, ніж монітори з електроннопроменевою трубкою.

Основною причиною зниження концентрації аеріонів під впливом ПК відносять спричинене ним електричне та електростатичне поле [41], із збільшенням напруженості яких пропорційно зменшується концентрація аеріонів. Ще однією причиною є деіонізація повітря, що відбувається внаслідок його прокачування через системи охолодження ПК [37].

Загалом, у жодній із робіт, що містять інформацію про концентрацію аеріонів у виробничих приміщеннях з ПК, немає опису механізму впливу саме ПК на концентрації аеріонів.

Прогнозування концентрацій аеріонів у залежності від чинників іонізації та деіонізації базуються на стандартних принципах.

Зміна концентрацій аеріонів у атмосферному повітрі у спрощеному вигляді описується системою рівнянь [48, 50–54]:

$$\begin{cases} \frac{dn^-}{dt} = q - \alpha n^+ n^- - \beta n^- N \\ \frac{dn^+}{dt} = q - \alpha n^+ n^- - \beta n^+ N \end{cases}$$

де n^+ та n^- – концентрації відповідно позитивних та негативних легких аеріонів, см^{-3} ;

q – рівень генерації аеріонів, іон/с;

α – коефіцієнт рекомбінації іонів, $\text{см}^3/\text{с}$;

β – коефіцієнт осадження легких аеріонів на аерозольні частинки, $\text{см}^3/\text{с}$;

N – концентрація аерозольних часток, штук/см³.

Використання даної моделі має недолік у тому, що вона не відображає різниці у концентраціях між негативними та позитивними аероіонами, які завжди присутні у реальному виробничому середовищі. Це відбувається через застосування єдиного коефіцієнта осадження аероіонів на аерозольні частинки (β) як для негативних, так і для позитивних аероіонів.

Більш точні концентрації аероіонів, з урахуванням різного рівня осадження негативних та позитивних аероіонів на нейтральних та заряджених аерозольних частинках, можна отримати за допомогою іншої системи рівнянь, яка також широко використовується для моделювання розподілу концентрацій аероіонів у виробничому середовищі:

$$\begin{cases} \frac{dn^-}{dt} = q - \alpha n^+ n^- - \beta^- n^- N^+ - \beta_0^- n^- N_0 \\ \frac{dn^+}{dt} = q - \alpha n^+ n^- - \beta^+ n^+ N^- - \beta_0^+ n^+ N_0 \end{cases},$$

де n^- та n^+ – концентрація негативних та позитивних легких аероіонів (відповідно), см^{-3} ;

β^- та β^+ – коефіцієнти осадження відповідно негативних та позитивних аероіонів на відповідно позитивно та негативно заряджених аерозольних частках, $\text{см}^3/\text{с}$;

β_0^- та β_0^+ – коефіцієнти осадження відповідно негативних та позитивних аероіонів на нейтральних аерозольних частках, $\text{см}^3/\text{с}$;

N_0 , N^+ та N^- – концентрації відповідно нейтральних і позитивно та негативно заряджених аерозольних часток, $\text{штук}/\text{см}^3$.

На сьогодні такі підходи практично вичерпано [55–58].

Найбільш ефективним є тривимірне моделювання, що наведене у роботах М. М. Біляєва та С. Г. Циганкової, наприклад, [59]. Але вони стосуються штучної іонізації повітря.

1.3. Нормалізація концентрації аероіонів

Найбільш ефективним (за малих концентрацій) засобом нормалізації концентрації аероіонів є штучна іонізація повітря. Але навіть сучасні іонізатори повітря [60] працюють за принципами коронного розряду. За високих продуктивностей такі пристрої мають принципові недоліки. Головним із яких є непередбачуване генерування озону та оксидів нітрогену, які є шкідливими для людей, і проблематичність поширення іонів у об'ємі приміщення.

Більш безпечними є ультразвукові пристрої штучної іонізації [61]. Але його недоліком є неможливість регулювання полярності та малий радіус обслуговування через відсутність примусового поширення іонів від джерела.

Питання надійного джерела штучної іонізації є принциповим, враховуючи можливість проєтування приміщень з нормативними рівнями іонізації за наявності припливно-витяжної вентиляції та іонізатора у разі потреби.

Тобто питання універсального і прийняттого для виробничих умов пристрою штучної іонізації повітря залишається відкритим. На сьогодні поза увагою залишається такий метод нормалізації аероіонного складу повітря як ліквідація джерел деіонізації повітря [62–65].

При цьому слід врахувати, що за останні десятиліття з'явилося багато оздоблювальних матеріалів з параметрами трибоелектричного ефекту, які не досліджувалися [66–67].

Слід врахувати, що навіть за накопичення електростатичного заряду, інший матеріал може мати протилежний знак поверхневого заряду, що накладає інші умови на засоби іонізації повітря. Критичними є не тільки напруженість поля поверхневого заряду, а і його розподіл по поверхні та взаємодія з вологістю повітря, що досліджено недостатньо. Крім того викликають сумніви наведені залежності концентрацій аероіонів обох знаків від відносної вологості повітря. Слід припустити, що залежності потрібно розглядати не як двофакторні, а як багатофакторні, наприклад концентрації аероіонів, температура, відносна вологість повітря, поверхневий електричний потенціал.

У забезпеченні нормативних концентрацій аероіонів в приміщеннях різного призначення є нез'ясовані питання щодо механізмів іоноутворення. У роботі [29] оперують поняттями гідроаероіонів, тобто утворення аероіонів під впливом механічної енергії ультразвукових коливань породжує кластери з іонізованих частинок та комплексів «іон-молекула води», які через рознесення позитивних та негативних зарядів породжують незначне електричне поле. Фактично усі іони беруть участь у складних процесах взаємодії з молекулами води у повітрі. Але залежність концентрацій аероіонів від відносної вологості повітря не настільки критична, щоб такий механізм був основним [68].

Утворення оксиген-радикала та іон-радикала потребують енергії активації відповідно 5,76 та 4,32 еВ. Але відомо, що одноактне утворення однозарядного іона кисню потребує енергії 13–14 еВ, тобто баланс енергії явно не відповідає одноактній дії. З великою ймовірністю можна припустити, що цей процес кількоступеневий і має ймовірнісний характер. Не дивлячись на очевидність перетворення однієї молекули повітря у дві протилежно заряджених іонізованих молекули або молекули кисню з одним зайвим електроном, або одним відсутнім електроном на позитивний, негативний та два нейтральних атоми кисню такий процес, якщо він має місце не може бути вирішальним, тому, що такі утворення вкрай нестійкі. А за нормальних умов час життя іона в повітрі вимірюється хвилинами (до рекомбінації його приєднання до частинок аерозолей або пилу чи поглинання електростатичним полем). Тобто, явно не виконується баланс енергій. Ілюстрацією цього факту може бути вплив на молекули повітря ультрафіолетового випромінювання. Для ультрафіолету з мінімальною довжиною хвилі для цієї частини спектра (280 нм) енергія кванта складає 4,45 еВ. З довідкової літератури відомо, що енергія іонізації молекули кисню складає 12,07 еВ, нітрогену – 15,58 еВ. Напевне, процес кількоступінчатий і має ймовірнісний характер, тобто, кілька взаємодій випадковим чином відбувається за короткий проміжок часу. Аргументом на користь такого примушення є те, що за нормальних умов у 1 см³ міститься порядку 10¹⁹ молекул, а навіть за потужної іонізації повітря кількість іонів в 1 см³ не перевищує 10⁴. Це певним чином

обумовлює за необхідності штучної іонізації повітря застосовувати джерела іонів високої продуктивності.

1.4. Методи та засоби забезпечення вимірювань концентрації аероіонів

Практично усі сучасні лічильники аероіонів працюють за аспіраційним принципом. Такі прилади мало відрізняються від класичних [69–71]. Похибка вимірювань усіх приладів не нижча за 30 %.

Аспіраційні лічильники (табл. 1.1) також характеризуються низкою недоліків.

Таблиця 1.1

Сучасні аспіраційні прилади для вимірювання
концентрації негативних аероіонів [72]

Назва приладу	Чутливість, іон/см ³	Межі вимірювань, іон/см ³	Відносна похибка, %	Габарити, мм/маса, кг	Живлення
МАС-01	50	10 ² –10 ⁶	40	190×106×65/0,9	акумуляторна батарея 6×1,25 В
Альфа-Лаб	10	100–199999	30	–	акумуляторна батарея 2×9В
Сігма-1	100	100–199999	30	90×150×180/2	мережа 220 В 50 Гц
Сапфир-ЗК	30	2×10 ² –2×10 ⁵	40	240×330×120/4,5	мережа 220 В 50 Гц
УТ-8401	10	50–10 ⁶	40	250×335×525/12	мережа 220 В 50 Гц

По-перше, вимірювання за допомогою аспіраційного лічильника може займати кілька хвилин. Оскільки середній час існування аероіонів становить кілька хвилин, результати вимірювання концентрації завжди будуть заниженими. По-друге, аспіраційний лічильник взагалі не призначений для роботи в умовах сильних зовнішніх електростатичних полів, які виникають при іонізації повітря електричними пристроями, наприклад, люстрами Чижевського. Наявність зовнішніх полів призводить до абсолютно неконтрольованого спотворення результатів вимірювань.

Асортимент лічильників аероіонів, доступних на сьогодні для здійснення вимірювань, є обмеженим. В Україні присутні такі лічильники аероіонів, як МАС-01, Сапфір-3К, Сапфір-3М, «AlphaLab Air Ion Counter» (табл. 1.1). Крім того, у вітчизняних науково-дослідних інститутах наявні лічильники аероіонів радянського періоду, які переважно є стаціонарними лабораторними приладами. Такі лічильники не можуть бути використані для дослідження аероіонів на робочих місцях з ПК та для перевірки концентрацій легких аероіонів на відповідність санітарним нормам.

Аналіз літературних джерел та документації щодо експлуатації лічильників аероіонів підтвердив відсутність належно обґрунтованої методики вимірювання концентрацій легких аероіонів, яку можна було б використовувати у наукових дослідженнях. Згідно з інструкцією до приладу «Сапфір-3К», для вимірювання концентрацій легких аероіонів необхідно провести 10–20 послідовних вимірювань, відкинути екстремальні мінімальні та максимальні значення і обчислити середнє арифметичне [73]. Отримане середнє арифметичне значення вважається результатом вимірювання. Очевидно, що така інструкція може задовольнити потреби вимірювання концентрацій аероіонів з точки зору їх відповідності санітарним нормам, але не є достатньою для проведення наукових досліджень. Інструкції до приладів МАС-01 та AlphaLab Air Ion Counter також не містять рекомендацій щодо необхідної кількості вимірювань для отримання достовірних даних [74, 75].

Для проведення вимірювань концентрацій аероіонів були застосовані методичні вказівки МУК 4.3.1675-03 «Общие требования к проведению контроля аэроионного состава воздуха» [76, 77]. Проте, такі вказівки не недоступні для проведення вимірювань у рамках наукового експерименту, оскільки вони розроблені для контролю аероіонного складу повітря у виробничих та громадських приміщеннях, а також для сертифікаційної оцінки іонізуючого обладнання. Згідно з цими вказівками, пропонується проводити 8 вимірювань для отримання результату, що достатньо для контролю, але недостатньо для отримання достовірних наукових результатів. На сьогодні ці недоліки можливо подолати за допомогою спеціального методу обробки результатів досліджень [78].

Метрологічний аспект є однією з головних проблем комплексної задачі моніторингу та нормалізації концентрацій аероіонів. Незважаючи на наявність рекомендацій виробників щодо застосування лічильників і відповідних методичних рекомендацій, розбіжності вимірювань є значними. Заявлені похибки вимірювань у діапазоні 30–40% не завжди відповідають дійсності при практичному застосуванні. Зазвичай, у виробничих умовах концентрація іонів низька і зазвичай не перевищує 300–400 одиниць кожного знаку, причому концентрація 100 одиниць є нижчою межею, яку можна враховувати при вимірюваннях. Таким чином, похибка при вимірюванні невеликих концентрацій іонів ще більше зростає. Навіть непомітне для ока забруднення повітря у приміщенні впливає на результати вимірювань, оскільки забрудненість повітря робить свій внесок у забруднення вимірювального конденсатора у лічильнику.

Аспіраційний метод вимірювання полягає у прокачуванні фіксованої кількості повітря через циліндричний конденсатор. Під час проходження повітря через конденсатор, іони повітря осідають на його обкладинки і заряд вимірюється. Однак, разом із іонами на обкладинки також осідає дрібнодисперсний пил, що призводить до зміни ємності конденсатора і спотворює результати вимірювань. У випадку з приладом «Сапфір-3К» конденсатор можна швидко очистити, але прилад «МАС-01» потребує розбирання для цього.

Наведене обумовлює необхідність в процесі проведення досліджень враховувати усі фактори, які можуть впливати на результати вимірювань. Найефективнішим методом отримання достовірних даних є гарантоване виключення послідовно кожного критичного фактора (вміст пилу, електризація поверхонь, проведення вимірювань за стабільної вологості повітря тощо).

1.5. Сучасний стан питання та постановка задач дослідження

Огляд доступних результатів наукових досліджень та прикладних розробок свідчить про обмежену кількість сучасних актуальних даних щодо динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях різного призначення та надійних методів їх контролю. Зокрема відсутні дослідження щодо електризації поверхонь полімерних матеріалів, з яких зроблено облицювання інтер'єрів, меблів, технічних засобів. В останні роки відбулася заміна систем кондиціонування, які вичерпали свій ресурс, на більш сучасні. Але даних щодо їх впливу на якість повітря не отримано. Відсутні дані щодо заходів і засобів нормалізації аероіонного складу повітря у комплексі заходів з нормалізації рівнів фізичних факторів виробничого середовища. Зокрема, вплив захисних матеріалів і конструкцій для зниження рівнів неіонізуючих та іонізуючих магнітних полів, які у певних умовах електризуються та впливають на концентрації аероіонів. Враховуючи, що захисні матеріали використовуються у медичних закладах для підвищення стабільності роботи чутливого діагностичного обладнання, рентгенівських кабінетах, кабінетах гама-терапії, а також для захисту інформації, потрібно визначити їх ступені впливу та розробити матеріал з низьким рівнем електризації як за рахунок трибоелектричного ефекту, так і під впливом фізичних полів.

На основі проведеного аналізу встановлено, що на сьогодні недостатньо досліджено зміни аероіонного складу повітря у приміщеннях різного призначення у залежності від кількості і номенклатури технологічного обладнання. Відсутні сучасні дослідження, які стосуються новітніх зразків основного і допоміжного

обладнання, впливів систем охолодження, зволоження повітря на концентрацію аероїнів обох знаків. Не дослідувалися новітні облицювальні матеріали щодо накопичення електростатичних зарядів та їх вплив на концентрації аероїнів. Відсутні принципи конструювання і функціонування прийнятного з якостями пристрою штучної іонізації повітря. Виходячи із наведеного були сформульовані об'єкт та предмет дослідження, його мета і завдання.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ АЕРОІОНІВ ТА РІВНІВ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1. Методика вимірювання концентрації аероіонів

Вимірювання концентрації аероіонів під час проведення експериментів проводилося за допомогою лічильника аероіонів «Сапфір-3К» та МАС-01. На сьогодні не існує офіційної методики вимірювання концентрації аероіонів, яку можна було б використовувати при проведенні наукових досліджень.

Тому при проведенні досліджень був використаний лічильник аероіонів «Сапфір-3К», який одночасно вимірює позитивні та негативні аероіони, на відміну від лічильників МАС-01 та AlphaLab Air Ion Counter, які можуть вимірювати в конкретний момент часу тільки аероіони однієї полярності. Згідно керівництва з експлуатації «Сапфір-3К» вимірює концентрації аероіонів з рухливістю більше $0,4 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, виведення даних на дисплей відбувається кожні 5 секунд, лічильник вимірює у трьох діапазонах (I – від 2×10^2 до 2×10^3 іонів/см³; II – від 2×10^3 до 2×10^4 іонів/см³; III – від 2×10^4 до 2×10^5 іонів/см³), систематична інструментальна похибка не перевищує $0,4 + 0,01 \times (n_k / n_x - 1)$, де n_k – кінцеве значення порогу встановленого діапазону вимірювання, n_x – показ лічильника.

Для вирішення задачі пошуку достатньої кількості вимірювань використовувалися дані вимірювань, проведених для вивчення впливу користувача ПК на робочому місці на концентрації аероіонів. При цьому застосовувався підхід, розроблений у [15].

Для визначення оптимальної кількості вимірювань, яка забезпечує найвищу достовірність даних, було використано такий підхід. Похибка вимірювань Δ рівна системній інструментальній похибці δ , якщо випадкова похибка Δ_r менша за $\delta/3$, $\Delta = \Delta_r$, якщо Δ_r більша за 3δ , і для випадку коли $\delta/3 \leq \Delta_r \leq 3\delta$, похибка вимірювань була розрахована за формулою: $\Delta = \pm 0,76 \times (\delta + \Delta_r)$. У даній роботі було використано 5 масивів даних вимірювань концентрацій

легких аероіонів, кожен з яких представляв собою значну вибірку даних, отриманих безперервними вимірюваннями протягом дії (або відсутності впливу) фактора.

Для усіх масивів даних результатів вимірювань була проведена перевірка на нормальність розподілу даних за допомогою аналітичних операцій та методів статистики, які доступні у програмному забезпеченні Excel. Аналіз показав, що всі масиви даних відповідають закону нормального розподілу згідно з критерієм Пірсона (за довірчою вірогідністю 0,95), а також, що загальна випадкова похибка в усіх наборах даних не перевищує 1/10 від системної похибки. За першим варіантом визначення похибки вимірювань, який є найбільш оптимальним у нашому випадку, систематична похибка становить $\delta \approx 0,4$. Другий варіант є нереальним, оскільки $\Delta\rho$ не може бути більшим за $3\delta = 1,2$, а похибка вимірювань не може перевищувати 20 %. При третьому варіанті, якщо $\Delta\rho = \delta/3 = 0,4/3 = 0,13$, то $\Delta = \pm 0,76 \cdot (0,4 + 0,13) = 0,41$, і загальна похибка завжди трохи більша за системну похибку. Завдання полягає у визначенні такої кількості вимірювань, при якій нерівність $\Delta\rho < \delta/3$ справджуватиметься в усіх або більшості випадків.

Для подальшого дослідження масиви були розбиті на менші вибірки. При виборі розміру вибірки було враховано вимоги, що вона має підпорядковуватись розподілу, бути невеликою за розміром та мати зручний часовий інтервал. У даній роботі було оброблено вибірки, що склалися з 48 значень концентрацій аероіонів кожної полярності, які відповідали результатам безперервних 4-х хвилинних вимірювань.

Для кожної отриманої вибірки було обчислено співвідношення $\Delta\rho/\delta$ за допомогою спеціально розробленого шаблону для обчислень у програмі Excel. Розрахунки проводилися окремо для аероіонів кожної полярності для кількості вимірів від 2 до 48. При цьому було фіксовано, для якої найменшої кількості вимірів в усіх випадках виконується нерівність $\Delta\rho/\delta < 1/3$. Іншими словами, визначалася мінімальна кількість вимірів з 48, при якій похибка вимірювання дорівнює похибці приладу. В результаті було отримано значення кількості

вимірів в діапазоні від 11 до 30, з середнім значенням по всім вибіркам рівним 18.

З метою перевірки відповідності середнього значення концентрацій, отриманого за 24 вимірами, середньому значенню за 48 вимірами, було використано гіпотезу про рівність середніх. Для проведення перевірки була використана статистична процедура «Двовибірковий t-тест із різними дисперсіями» у програмі Excel. У всіх вибірках, за винятком вибірок зі змінними даними про концентрації аероіонів, було підтверджено нульову гіпотезу про рівність середніх значень обох вибірок, за винятком випадків, де спостерігалася динаміка концентрацій аероіонів.

Також було проаналізовано дані повторного експерименту, який був проведений в тих самих умовах з тією ж кількістю вимірювань та тим же фактором, для перевірки припущення про достатність 24 вимірів з 48. Результати повторної перевірки були аналогічні – у всіх вибірках, за винятком вибірок з динамічними даними, гіпотеза про рівність середніх значень обох вибірок була підтверджена, окрім вибірок з динамічними даними.

Результати здійснених обчислень надають підстави для включення наступних положень в методику вимірювань:

1) при дослідженні концентрацій легких аероіонів, які піддаються динамічним змінам внаслідок впливу певного фактора або групи факторів у виробничому середовищі, необхідно здійснювати безперервні вимірювання, щоб отримати достовірні результати.

2) при дослідженні концентрацій легких аероіонів, які перебувають у стані динамічної рівноваги, з метою зменшення трудомісткості експерименту можна проводити вимірювання у режимі, що відповідає стабільності інших показників у часі (температури, вологості).

Для приміщень, де проводилися експериментальні вимірювання, було здійснено вимірювання фонові концентрації аероіонів та експозиційної дози. Порівнюючи розрахункову концентрацію аероіонів з вимірюваною, встановлено, що похибка вимірювань не перевищує 20 % для усіх приміщень.

З огляду на зазначені високі паспортні похибки наявних лічильників, для підтвердження достовірності отриманих результатів вимірювань потрібно проводити одночасне вимірювання концентрації легких аероіонів за допомогою альтернативного лічильника.

З метою підтвердження достовірності отриманих даних під час експериментів з визначення впливу електростатичного поля на концентрацію аероіонів та нормалізацію цієї концентрації, були проведені паралельні вимірювання за допомогою лічильників «Сапфір-3К» та МАС-01. Лічильник МАС-01 працював у двох режимах – безперервне вимірювання концентрації негативних аероіонів та позитивних аероіонів. В результаті використання лічильника МАС-01 було виявлено, що відхилення отриманих ним значень від значень лічильника «Сапфір-3К» становило від 9 % до 12 %.

З урахуванням усіх вище викладених даних була удосконалена методика вимірювання концентрацій легких аероіонів у повітрі приміщень за допомогою лічильника аероіонів «Сапфір-3К» (див. Додаток А).

2.2. Методологія вимірювання кількісних значень фізичних факторів виробничого середовища

Вимірювання параметрів повітря (температура, відносна вологість, швидкість переміщення) у досліджуваних приміщеннях виконувалося відвідно до керівництв з експлуатації приладів [79, 80]. Вимірювання концентрації легких аероіонів проводилося безпосередньо на місці, з триразовою повторюваністю щогодини. Для вимірювання відносної вологості та температури повітря був застосований багатофункціональний вимірювач параметрів середовища DT-8820, швидкість переміщення повітря у приміщенні була виміряна за допомогою термоанемометру ST-8020.

Потужність експозиційної дози вимірювали за допомогою радіометру СРП 68-01 відповідно до інструкції з експлуатації приладу [81] з інтервалом проведення виміру 5 с з п'ятиразовою повторністю щогодини безпосередньо на місці проведення вимірювань концентрації аероіонів.

Вимірювання напруженості електростатичних полів проводилося з використанням вимірювача електростатичних зарядів ІЕЗ-П, згідно з технічним паспортом приладу [82]. При визначенні напруженості електростатичного поля, прилад було розташовано вертикально відносно поверхні джерела поля на відстані 1 см від поверхні. Вимірювання напруженості електростатичного поля площинних джерел проводилися методом конверту з триразовою повторюваністю.

2.3. Методика визначення ступеня ефективності заходів щодо нормалізації аероіонного складу повітря

Для визначення ступеня ефективності заходів нормалізації аероіонного складу повітря було проведено оцінку змін самопочуття користувачів ПК до та після проведення заходів з нормалізації концентрації легких аероіонів. Ця оцінка була проведена за методикою САН (самопочуття, активність, настрій) [83]. Методика САН широко застосовується для оцінки психічного стану як у хворих, так і у здорових осіб, а також для визначення психоемоційної реакції на навантаження, виявлення особистих характеристик та біологічних циклів психофізіологічних процесів.

Шкала методики САН є системою індексів (3 2 1 0 1 2 3), що розташовані між тридцятьма парами термінів, що мають протилежне значення і відображають динаміку, темп і інтенсивність функцій (активність), силу, здоров'я, втомленість (самопочуття), а також емоційний стан (настрій). Цей тест має переваги у своїй стислості і можливості повторного використання протягом певного періоду часу. Спочатку респондент повинен співвіднести свій стан з ознаками,

представленими у багатоступеневій шкалі (табл. 2.1), і вибрати число, яке найточніше відображає його поточний стан.

Таблиця 2.1

Типова карта методики САН (самопочуття, активність, настрої)

Самопочуття добре	3 2 1 0 1 2 3	Самопочуття погане
Почуваюся сильним	3 2 1 0 1 2 3	Почуваюся слабким
Пасивний	3 2 1 0 1 2 3	Активний
Малорухливий	3 2 1 0 1 2 3	Рухливий
Веселий	3 2 1 0 1 2 3	Сумний
Добрий настрої	3 2 1 0 1 2 3	Поганий настрої
Працездатний	3 2 1 0 1 2 3	Розбитий
Сповнений сил	3 2 1 0 1 2 3	Знесилений
Повільний	3 2 1 0 1 2 3	Швидкий
Бездіяльний	3 2 1 0 1 2 3	Діяльний
Щасливий	3 2 1 0 1 2 3	Нещасливий
Життєрадісний	3 2 1 0 1 2 3	Похмурий
Напружений	3 2 1 0 1 2 3	Розслаблений
Здоровий	3 2 1 0 1 2 3	Хворий
Байдужий	3 2 1 0 1 2 3	Захоплений
Спокійний	3 2 1 0 1 2 3	Схвильований
Захоплений	3 2 1 0 1 2 3	Сумовитий
Радісний	3 2 1 0 1 2 3	Жалісливий
Відпочилий	3 2 1 0 1 2 3	Стомлений
Свіжий	3 2 1 0 1 2 3	Виснажений
Сонливий	3 2 1 0 1 2 3	Збуджений
Бажання відпочити	3 2 1 0 1 2 3	Бажання працювати
Спокійний	3 2 1 0 1 2 3	Стурбований
Оптимістичний	3 2 1 0 1 2 3	Песимістичний
Витривалий	3 2 1 0 1 2 3	Втомлений
Бадьорий	3 2 1 0 1 2 3	Млявий
Думати важко	3 2 1 0 1 2 3	Думати легко
Розсіяний	3 2 1 0 1 2 3	Уважний
Сповнений сподівань	3 2 1 0 1 2 3	Розчарований
Задоволений	3 2 1 0 1 2 3	Незадоволений

На наступному етапі обробки цифри, отримані за шкалою САН, перекодовуються згідно з методикою. Негативні стани відображаються за допомогою 1 бала, наступні за ними – 2 бали і так далі. Варто пам'ятати, що полюси шкали постійно перебувають у зміні. Позитивні стани завжди отримують

високі бали, тоді як негативні - низькі. За цими балами розраховується середнє арифметичне як загальне значення, так і окремо для активності, самопочуття і настрою. Приклад перекодування наведений у таблиці 2.2.

При оцінці функціонального стану важливо враховувати значення окремих показників та їхнє співвідношення. Наприклад, у людини, яка добре відпочила, оцінки активності, настрою і самопочуття є приблизно однаковими. За зростання втоми, співвідношення між ними змінюється, оскільки самопочуття і активність відносно знижуються порівняно з настроєм.

При оцінюванні результатів тесту, бали для оцінки самопочуття формуються шляхом сумування балів за відповіді на питання 1, 2, 7, 8, 13, 14, 19, 20, 25, 26; для оцінки активності – за відповіді на питання 3, 4, 9, 10, 15, 16, 21, 22, 27, 28; для оцінки настрою – за відповіді на питання 5, 6, 11, 12, 17, 18, 23, 24, 29, 30. Отримані результати для кожної категорії діляться на 10. Середній бал шкали дорівнює 4. Оцінки, які перевищують 4 бали, свідчать про сприятливий стан респондента, тоді як оцінки нижче 4 свідчать про негативний стан. Нормальні оцінки функціонального стану самопочуття користувачів ПК знаходяться в діапазоні 5–5,5 балів.

Таблиця 2.2

Конвертація результатів опитування за допомогою тесту САН в бальну шкалу

Перекодування	Повний надій	7	6	5	4	3	2	1	Розчарований
Текст САН	Повний надій	3	2	1	0	1	2	3	Розчарований

Використання обраної методики вимірювання концентрації аероіонів має такі можливості:

- встановлення інтервалу часу, через який після налаштування приладу досягається стабільність результатів вимірювань;
- ідентифікація та усунення впливу спостерігача на результати вимірювань;

- встановлення безперервного та переривчастого режимів проведення вимірювань залежно від динамічних та нединамічних факторів середовища в офісному приміщенні;

- врахування випадкової похибки вимірювань при достатній кількості проведених вимірів;

- обґрунтування визначення достатньої кількості вимірів (24 виміри протягом 2 хвилин) для знехтування випадковою похибкою.

Під час вимірювання фонові концентрації аероіонів та фонові радіоактивності в досліджуваних приміщеннях було встановлено, що систематична похибка не перевищує 20 %.

Порівняння результатів, отриманих за допомогою лічильника «Сапфір-3К», з результатами паралельних вимірювань з використанням лічильника МАС-01 показало, що відхилення не перевищує 12 % для всіх досліджуваних приміщень.

Висновки до розділу 2

1. Для отримання достовірних даних щодо концентрації аероіонів обох полярностей доцільно здійснювати вимірювання серіями (по 24 у кожній). Описана методика оброблення результатів вимірювання дозволяє отримати дані з похибкою не більше 20 %.

2. Вимірювання здійснюються відповідно до інструкцій з використання лічильників аероіонів. У процесі виконання однієї серії вимірювань необхідно забезпечити перемінність кількісних значень інших фізичних чинників середовища – температури, відносної вологості й швидкості спрямованого руху повітря, електричних полів тощо. Це досягається непервністю процесу вимірювання в одній серії.

3. Вимірювання рівнів напруженості електростатичних полів на площах (підлогах) приміщень необхідно виконувати методом конверту з триразовим повторюванням. Це обумовлено нерівномірністю розподілу електростатичних зарядів на полімерному матеріалі великої площі. У процесі вимірювання показники відносної вологості повітря і зовнішніх електромагнітних полів повинні бути незмінними.

4. Визначення ефективності заходів нормалізації якості повітря доцільно виконувати методом анкетування з використанням методики САН.

5. Для підвищення достовірності даних експериментів бажаним є порівняння результатів отриманих двома лічильниками аероіонів.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА НА КОНЦЕНТРАЦІЇ АЕРОІОНІВ

3.1. Дослідження впливу мікрокліматичних параметрів середовища на концентрації аероіонів у повітрі

Для коректного визначення переліку і вмісту організаційно-технічних заходів з нормалізації аероіонного складу повітря та підтримання їх на нормативному рівні необхідним є визначення факторів (обладнання та груп обладнання), які впливають на концентрацію аероіонів. При цьому критичним є відсутність працюючих на робочих місцях, щоб відокремити вплив людей і технічних засобів на результати досліджень [84].

Вимірювання виконувалися у тестовому приміщенні площею 20 м² та об'ємом 60 м³. Уся підлога вкрита покриттям з синтетичного матеріалу, що виробляється серійно. Поверхневий електростатичний заряд створювався за рахунок трибоелектричного ефекту. Температура у приміщенні встановлювалася за допомогою стандартної split-системи. Повітрообміну із зовнішнім простором під час проведення вимірювань не було. Дослідження проводились на п'ятому поверсі стандартної будівлі офісного призначення у літню пору року. Система примусової вентиляції відсутня.

Для зміни вологості та іонізації повітря застосовувався серійний ультразвуковий зволожувач повітря Saturn ST-AH2107 потужністю 25 Вт (витрати води – 0,28 кг/год).

Відносна вологість і температура повітря вимірювалися повіреним комбінованим приладом CX 601 D.

Радіаційний фон вимірювався каліброваним приладом СРП-68-01. Під час проведення експериментів фон був стабільним і складав 0,18–0,20 мкЗв/год. Концентрації іонів обох знаків вимірювалися каліброваним лічильником іонів «Сапфір-3К», згідно інструкції з експлуатації. Максимальна основна похибка

вимірювань складала 20 %. Кожне вимірювання складалося з трьох серій. У кожену серію входили 24 покази приладу по обох полярностях. Результати вимірювань оброблялися за методикою [78]. Результат заносився у таблиці (n^- , n^+). Відстань між вимірювальними приладами та зволожувачем повітря складала 1 метр, висота від рівня підлоги до приладів становила 0,5 метра. Вимірювання напруженості електричного поля вимірювалося повіреним переносним вимірювачем ВЕЗ-П. Максимальна основна похибка вимірювань не перевищувала 10 %. Вимірювання здійснювалися у 10 точках за радіусом 1 м навколо зволожувача повітря, і оброблялися згідно інструкції з експлуатації приладу і заносилися у таблиці.

Враховуючи залежність іонізації повітря від його стану за межами приміщення в залежності від часу доби, фіксувався час проведення вимірювань. Перша серія вимірювань починалася о 12:00 за київським часом. Час $T=0$ відповідає даним, виміряним перед вмиканням зволожувача повітря. Результати вимірювань наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Зміна іонізації повітря (n), відносної вологості (ϕ) та напруженості електричного поля (E) електростатичних зарядів полімерної поверхні від часу роботи (T) ультразвукового зволожувача повітря у денний час

T, год	t, °C	ϕ , %	E, кВ/м	n, см ⁻³	
				n^-	n^+
0	24,0	37	5,1	240	260
0,5	23,5	39	4,8	480	410
1,0	22,5	44	4,0	720	530
1,5	22,5	44	2,1	430	380
2,0	22,5	45	0,2	560	410

Динаміка концентрацій іонів відносної вологості повітря та напруженостей електростатичного поля наведено на рис. 3.1–3.3.

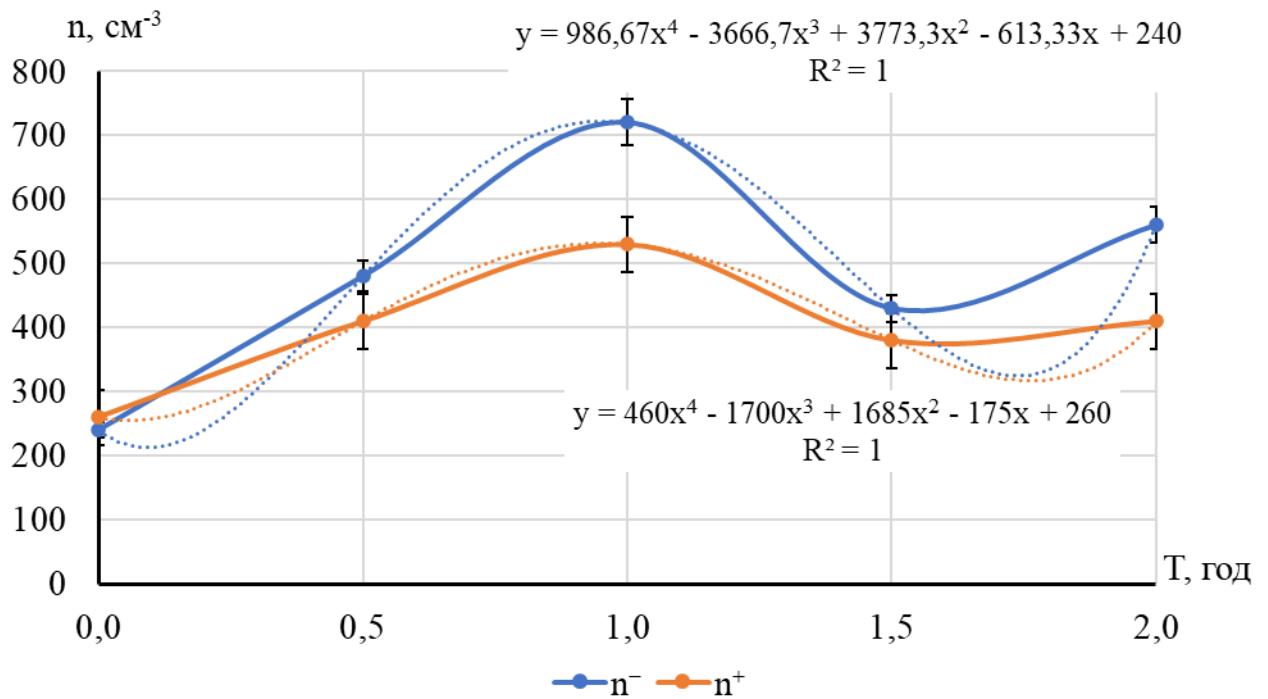


Рис. 3.1. Зміна концентрацій іонів у залежності від часу роботи зволожувача повітря на відстані 1 м від пристрою

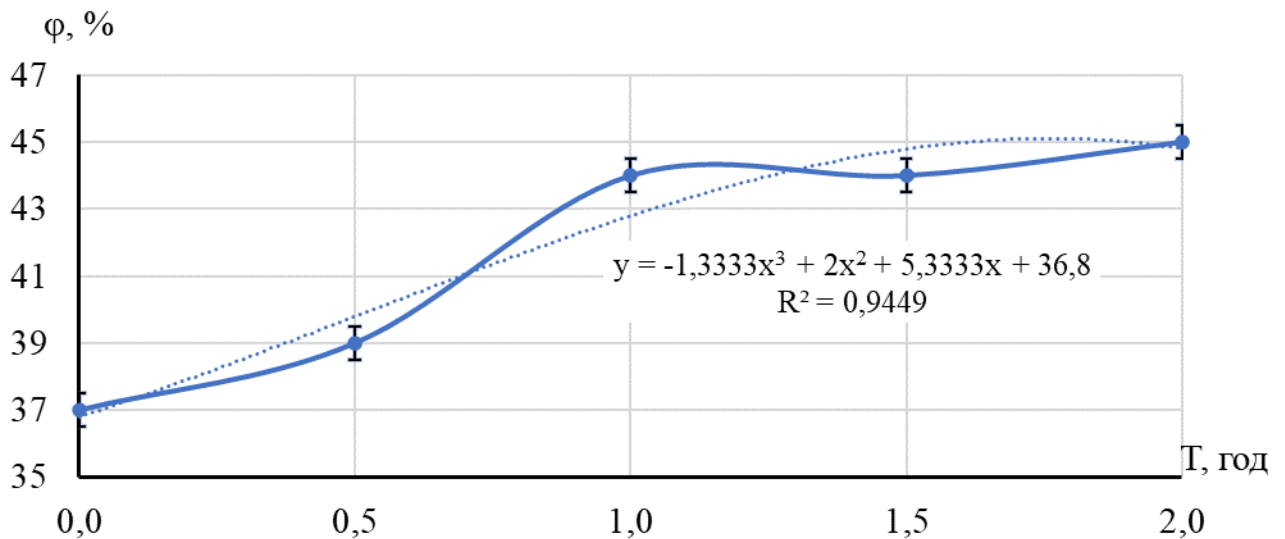


Рис. 3.2. Залежність відносної вологості повітря від часу роботи зволожувача повітря на відстані 1 м від пристрою

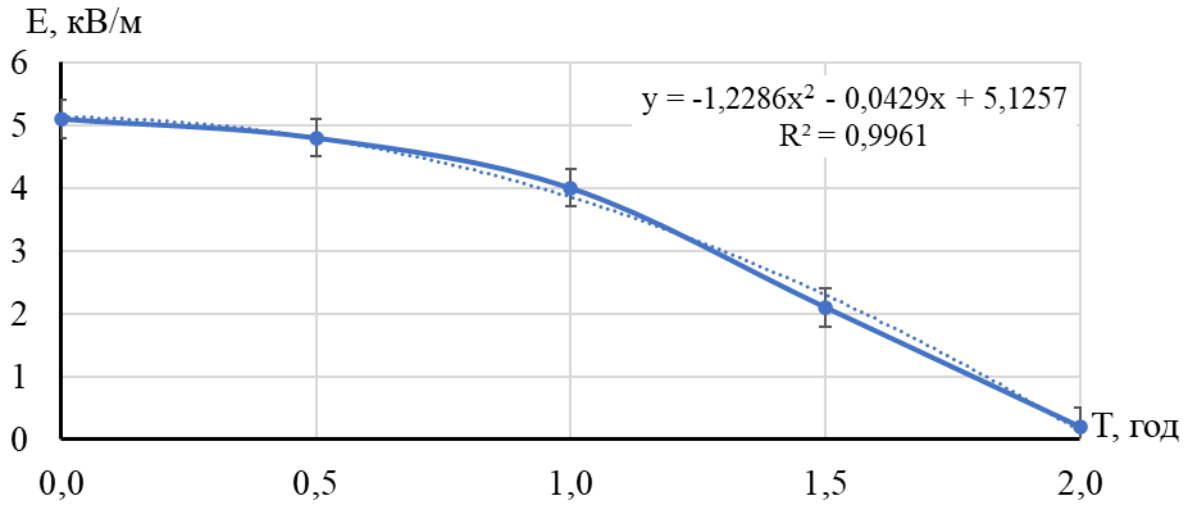


Рис. 3. 3. Залежність напруженості електростатичного поля від часу роботи зволожувача повітря на відстані 1 м від пристрою

Концентрації іонів наближаються до мінімально допустимих значень за дві години роботи зволожувача. При цьому відносна вологість підвищується до значень, регламентованих для більшості виробничих та побутових умов (40–60 %), а температура перебуває у нормативних межах (20–24 °С) [2]. Цей процес супроводжується нейтралізацією електростатичних зарядів, про що свідчить різке зниження напруженості електричного поля.

Аналогічні вимірювання, але з кроком у 1 годину, були проведені у вранішній час (початок – 6:00 ранку за київським часом, табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Зміна іонізації повітря, відносної вологості та напруженості електричного поля електростатичних зарядів полімерної поверхні від часу роботи ультразвукового зволожувача повітря у вранішній час

T, h	t, °C	φ, %	E, кВ/м	n, см ⁻³	
				n ⁻	n ⁺
0	24,0	40	1,2	300	490
1	23,5	44	0,8	810	710
2	23,0	52	0,5	1700	960
3	22,5	51	0,1	1540	1150

Дані табл. 3.1 та 3.2 свідчать, що вихідні параметри у приміщенні (концентрації іонів, напруженість електростатичного поля) відрізняються у залежності від часу доби, незважаючи на близькі значення температури і відносної вологості. Концентрації іонів вранці більші (з переважною негативною іонізацією), а напруженості електростатичних полів – менші. Це може бути наслідком різного складу повітря, яке поступає ззовні та інших причин. Наприклад, відомо, що електричний заряд Землі від’ємний. Тому за відсутності руху повітря (у тому числі і конвекційного, під впливом сонячного світла) у приповерхневому шарі накопичуються переважно позитивні іони. Така пропорція у табл. 3.2 на початку вимірювань може бути наслідком цього явища. У подальшому за роботи зволожувача і перемішування повітря це явище стає несуттєвим. Але наведені дані свідчать, що за допомогою стандартного пристрою з нерегульованою генерацією іонів кожного знаку досягти потрібного (прогнозованого) результату неможливо. До того ж це ускладнюється наявністю інших чинників впливу на концентрації іонів, наприклад систем охолодження повітря та вентиляції [85].

Системи вентиляції та охолодження можуть суттєво впливати на концентрації іонів та їх переважну полярність [67]. Особливо це стосується split-систем. Тому було проведено дослідження щодо їх впливу на іонізацію повітря. Приміщення попередньо провітрювалися. Час $T=0$ відповідає параметрам до вмикання охолодження повітря. Зволожувач повітря не використовувався. Початок вимірювань 6:00 – за київським часом.

Результати, наведені у табл. 3.1–3.3, отримані із застосуванням однієї split-системи.

З табл. 3.3 видно, що у результаті впливу системи охолодження повітря відбувається часткова деіонізація повітря, при цьому вона непропорційна для аероіонів різних знаків.

Таблиця 3.3

Вплив системи охолодження повітря на концентрації аероіонів

T , год	t , °C	φ , %	n , см ⁻³	
			n^-	n^+
0	26,0	52	180	430
1	23,0	45	130	450
2	22,5	47	120	410
3	22,5	46	110	320

Було досліджено зміну концентрацій аероіонів у трьох приміщеннях з різними марками split-систем.

Результати вимірювань наведено у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Ступені деіонізації повітря системами охолодження повітря різних марок

Приміщення	$T=0$ год		$T=3$ год	
	n , см ⁻³		n , см ⁻³	
	n^-	n^+	n^-	n^+
№ 1	630	740	420	480
№ 2	620	740	600	390
№ 3	480	690	120	100

Як видно з даних табл. 3.4, чіткої тенденції щодо зміни іонного складу повітря немає. Слід враховувати, що значні відмінності даних можуть бути обумовлені термінами експлуатації пристроїв (наприклад, нашаруванням пилу на лопотях). Це може бути пов'язане з конструктивними особливостями, наприклад, різною електризацією полімерів, з яких виготовлено повітроводи і лопаті вентиляторів.

Наведене обумовлює актуальність розроблення ультразвукового іонізатора повітря з регульованою полярністю генерації іонів. Принципи його

конструювання та результати тестування будуть наведені у розділі 4.

Таблиця 3.5

Результати натурних вимірювань аероіонів у приміщенні
з тепловентилятором

№	T, °C	h, см	n ⁻	n ⁺
1	12,8	55	390	760
2	14,8	55	600	1010
3	15,4	55	720	1020
4	16,0	55	730	1100
5	16,4	55	750	1130
6	16,6	54	820	1150
7	17,3	54	860	1320
8	17,4	54	850	1240
9	17,6	54	870	1270
10	17,8	54	860	1290

Також було досліджено вплив стандартних пристроїв на концентрації аероіонів у приміщенні площею 25 м² (табл. 3.5–3.7). Висота стелі – 3,0 м, відстань від пристрою до лічильника – 2,0 м.

Таблиця 3.6

Результати натурних вимірювань аероіонів у приміщенні
з рециркулятором повітря

№	T, °C	h, см	n ⁻	n ⁺
1	9,7	61	490	1360
2	9,8	61	950	1490
3	9,8	56	1010	1590
4	9,8	56	1110	1620
5	9,8	56	1130	1630
6	9,9	56	1140	1670

Закінчення таблиці 3.6

7	9,9	56	1140	1680
8	10,0	56	1140	1710
9	10,0	56	1240	1740
10	10,0	56	1220	1760

Таблиця 3.7

Результати натурних вимірювань аероіонів у приміщенні
з інфрачервоним обігрівачем

№	T, °C	h, см	n ⁻	n ⁺
1	10,2	56	550	1010
2	11,3	55	110	360
3	12,6	54	0	180
4	13,3	54	0	90
5	14,0	54	0	80
6	14,4	54	0	70
7	14,6	53	0	40
8	14,8	53	0	30
9	15,2	53	0	20
10	15,5	52	0	10

Таким чином, результати експериментів свідчать, що плануючи застосування вказаних пристроїв у приміщеннях, слід враховувати зміни аероіонного складу повітря у просторі і часі.

3.2. Дослідження динаміки аероїнного складу повітря на робочих місцях, з урахуванням чинників деіонізації

Проведено дослідження впливу елестростатичних полів, які генеруються внаслідок трибоелектричних ефектів на комп'ютеризованих робочих місцях. Для досліджень було обрано два окремих робочих місця з подібною компоновкою і близькими за своїми характеристиками обладнанням та меблями.

Дослідження були проведені у виробничому приміщенні, що розташоване на шостому поверсі промислової будівлі (розміри 8×9×3,5 м). У приміщенні відсутні системи припливної вентиляції та кондиціонування. Протягом вимірювань природна вентиляція була відсутня, а повітря надходило в приміщення шляхом інфільтрації. Дослідження проводилося без присутності людей та у неробочий час. На першому етапі проведення досліджень, у приміщенні знаходився лише дослідник, який фіксував результати вимірювань. Вимірювання концентрацій іонів здійснювались з використанням приладу «Сапфір-3К» відповідно до інструкції з експлуатації [73]. Вимірювання проводились на висоті 20 см над робочою поверхнею в зоні дихання оператора. Одночасно з вимірюванням концентрацій іонів вимірювалась напруженість елестростатичного поля за допомогою вимірювача елестростатичних зарядів «ИЭЗ-П» згідно з паспортом приладу [82]. Також, за допомогою дозиметра, проводились вимірювання потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання (0,13 мкЗв/год). Дослідження тривали протягом кількох днів.

Одночасно вимірювалися концентрації іонів та напруженості елестростатичного поля (E) на робочому місці користувача та обладнання, яке знаходилося поряд. Результати вимірювань наведені в таблиці 3.8. Встановлено, що напруженість елестростатичного поля на кріслі була різною в різних точках крісла: на сидінні – від 4 до 16 кВ/м, на спинці крісла – від 2 до 4 кВ/м. Розташовані поряд монітор, принтер та БФП, генерували значне елестростатичне поле. Найбільший внесок у формування якого вносив багатофункціональний пристрій.

Результати досліджень напруженостей електростатичних полів

Об'єкт дослідження	Напруженість електростатичного поля, кВ/м (відстань від об'єкту дослідження, см)	Знак заряду
Робоча поверхня (без ПК)	0 (1)	
Дисплей	3 (1)	+
Клавіатура	7 (1); 3 (2); 2 (3)	-
Спинка крісла (після сидіння на кріслі користувача)	1-2 (1)	-
Сидіння крісла (після сидіння на кріслі користувача)	≈ 7 (1)	-
Принтер (під'єднаний до мережі електроживлення, але не використовувався; розташований поряд з монітором)	5 (1)	-
Монітор персонального 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, (під'єднаний до мережі електроживлення, але не використовувався; розташований поряд з монітором)		
Верхня кришка	9,2 (1); 9,2 (3); 12(5); 16,8 (7); 14 (10); 13,6 (15); 11,2 (20); 11,2 (25); 10 (30)	+
Бічна стінка (зі сторони користувача ПК)	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)	+

Напруженість загального електростатичного поля на відстані 2 м від робочого місця користувача 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 таблиці 3.9.

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 персонального комп'ютера (рис. 3.4).

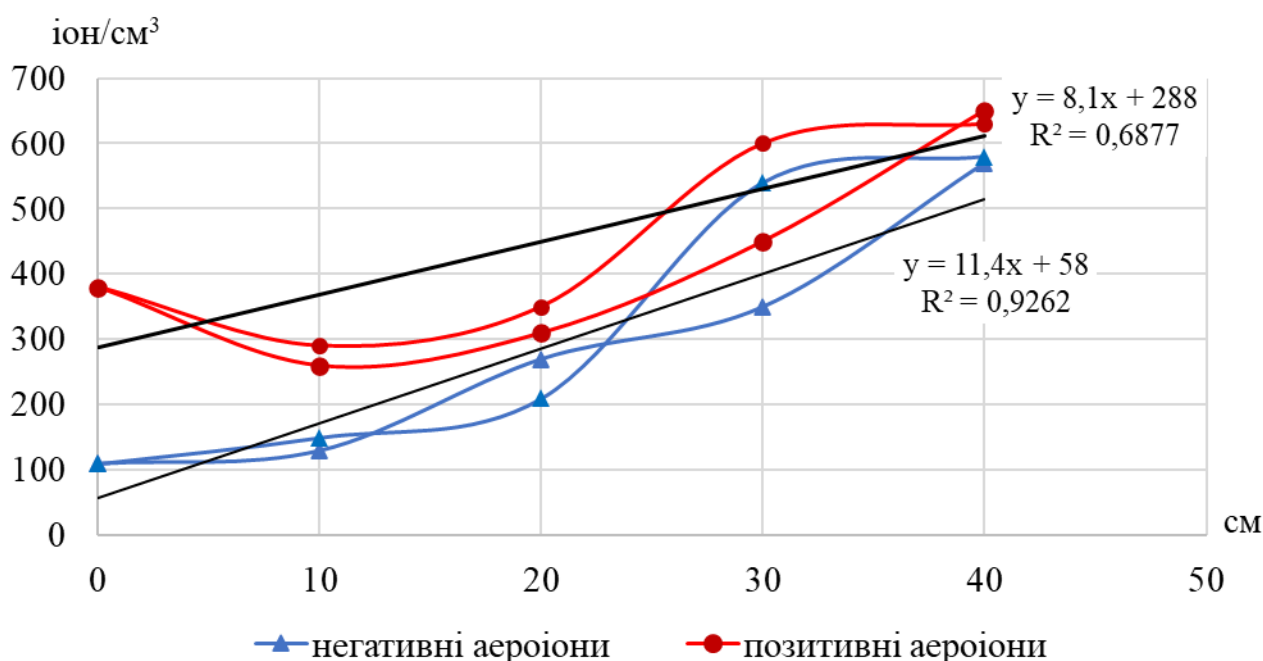


Рис. 3.4. Динаміка концентрацій іонів поблизу персонального комп'ютера

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 оптимальний значення, встановлені нормативними документами.

Напруженості полів електростатичних зарядів не перевищували гранично допустимого рівня.

Таблиця 3.9

Результати досліджень концентрацій іонів на робочому місці користувача ПК

Умови проведення досліджень	Концентрація іонів (різниця із попередньою концентрацією), іон/см ³		Показник полярності, П	Коротка характеристика електро-статичних полів
	негативні	позитивні		
Усі прилади в приміщенні вимкнені, на робочому столі встановлений тільки лічильник аероіонів	890	920	0,04	Е полів у приміщенні = 0
На відстані 3 м від робочого місця ввімкнено в електромережу ПК (разом з принтером та БФП) для реєстрації показів на окремому столі розташований лічильник аероіонів	680	810	0,05	На відстані 2,5–3 м від робочого столу – сильне електростатичне поле монітору та БФП (знак заряду позитивний)
На відстані 3 м від робочого місця ввімкнені в електромережу ПК (разом з принтером та БФП) для реєстрації даних, на робочому столі знаходяться ноутбук та лічильник аероіонів	490	750	0,20	До електро-статичного поля монітору та БФП додається вплив поля дисплея та клавіатури ноутбуку
На відстані 3 м від робочого місця працює ПК (разом з принтером та БФП), оператор працює за ноутбуком	480	420	-0,04	До вказаних вище електро-статичних полів додаються поля, які генеруються на кріслі користувача (знак заряду негативний)

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.

Це було обумовлено впливом електростатичного поля увімкненого обладнання, поверхневий заряд якого був позитивний. Підключений до електромережі ПК був причиною поступового зниження концентрацій, при чому у більшості негативних іонів через вплив електростатичного поля (з позитивними зарядами) дисплею ПК. Електростатичне поле клавіатури певним чином також вплинуло на зниження концентрацій позитивних аероіонів.

Друге аналогічне приміщення було розташоване на іншому поверсі цієї ж будівлі. Вимірювання виконувалися у приміщенні на четвертому поверсі з розмірами 8×9×3,5 м. Приміщення не обладнане системою примусової вентиляції та кондиціонування повітря. Вікна були зачинені. Вимірювання проводилися за відсутності персоналу (крім користувача ПК, який фіксував покази приладів).

Досліджувався переносний комп'ютер з діагоналлю екрана 17 дюймів. Вимірювання концентрації аероіонів виконувалися лічильником «Сапфір-3К». Вимірювання здійснювалися у зоні перебування користувача, для цього лічильник розташовувався на висоті 0,2 м над поверхнею робочого столу. Враховуючи велику похибку лічильника (до 40 %), оброблення результатів вимірювань серій по 24 вимірювання у кожній, здійснювалися за спеціальною методикою [64]. Вимірювання напруженості електростатичного поля було проведено за допомогою вимірювача ІЕЗ-П відповідно до інструкції з експлуатації. Радіаційний фон був виміряний за допомогою приладу СРП-88Н і становив 12 мкР/год. Відносна вологість повітря та температура вимірювалися за допомогою універсального пристрою Сх601Д. Відносна вологість під час проведення експериментів становила 50–52 %, а температура – 21–23 °С, що відповідає нормативним вимогам для експлуатації комп'ютерної техніки.

Вимірювання були проведені протягом двох днів. Спочатку протягом 30 хвилин здійснювалися вимірювання концентрацій аероіонів на робочому місці без присутності оператора та вимкненого комп'ютера. Після цього ноутбук був увімкнений і використовувався в постійному режимі для вирішення поставленої задачі. Спостереження за показниками лічильника аероіонів здійснювалися з відстані 3 метри. Наступні вимірювання проводилися з присутністю оператора ПК (табл. 3.10–3.11). Також була виміряна зміна концентрацій аероіонів залежно від відстані від робочого місця (рис. 3.5).

Таблиця 3.10

Результати вимірювання напруженості електростатичних полів

Джерело	Напруженість, кВ/м	Знак заряду
Робочий стіл без ПК	0	
Дисплей ПК	4,0–4,5	+
Клавіатура	4,5–9,0	–
Спинка крісла при присутності користувача	2,0–4,0	–
Сидіння крісла	6,0–6,5	–
Лазерний принтер	4,2–4,3	–

В результаті проведення серії вимірювань в умовах даного експерименту було встановлено стійку тенденцію деіонізації повітря на робочому місці оператора у радіусі 0,5–0,6 метрів. Для оцінки однорідності отриманих концентрацій на кожному етапі експерименту було обчислено коефіцієнт варіації, який не перевищував 20 %, за винятком роботи користувача за комп'ютером, де цей коефіцієнт складав 28 % для негативних аероіонів і 21 % для позитивних аероіонів.

Таблиця 3.11

Вимірювання концентрацій аероіонів на робочому місці користувача

Місце вимірювань	Концентрація аероіонів (різниця з фоновою концентрацією), см^{-3}		Показник полярності, П
	n^-	n^+	
Обладнання у приміщенні вимкнене. Результати вимірювань знімалися дистанційно, використовуючи лише лічильник аероіонів	890	920	0,04
На відстані 3 м від робочого місця працює ПК і принтер	680	810	0,05
На відстані 3 м від робочого місця працює ПК. На робочому столі працює ПК	490	750	0,2
На відстані 3 м від робочого місця працює ПК. На робочому місці користувач працює за ноутбуком	480	420	-0,04

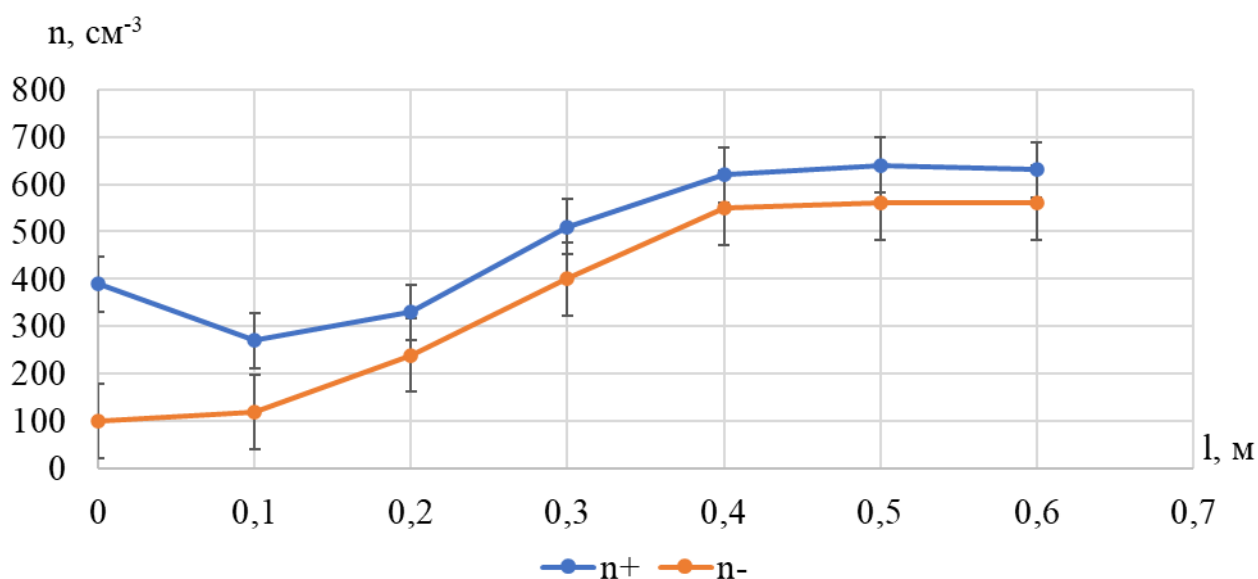


Рис. 3.5. Зміна концентрацій аероіонів з відстанню від комп'ютера

Фонові концентрації аероіонів обох полярностей в приміщенні, де були проведені експерименти, були значно вищими за мінімально допустимі і мали коефіцієнт полярності, що характерний для природного повітря. Однак рівні електростатичних полів значно перевищували гранично допустиме значення (500 В/м).

Коефіцієнт варіації концентрацій аероіонів на всіх етапах вимірювань не перевищував 20 %, що свідчить про мінімальний вплив зовнішніх факторів, за винятком електростатичного поля. Під час роботи користувача ПК, ймовірно, через трибоелектричний ефект вплив електростатичних полів на концентрації аероіонів зростає. При цьому, на відстані 0,5–0,6 метрів концентрації досягали значень фону (принаймні, мінімально нормативних). Таким чином, можна зробити висновок, що якість повітря потребує корекції саме в обмеженій зоні навколо робочого місця.

Одним зі способів нормалізації концентрацій аероіонів на робочих місцях може бути зниження градієнтів концентрації спрямованим рухом повітря нормативної швидкості (до 0,4 м/с). Проте, всі електронні пристрої працюють за допомогою постійного електричного струму і створюють відповідні магнітні поля [86, 87]. Незважаючи на їх низьку напруженість, тривала експлуатація може призвести до переміщення аероіонів під впливом цих полів, що потребує подальших досліджень.

3.3. Дослідження впливу користувача комп'ютера на концентрацію аероіонів у повітрі робочої зони

Одним із завдань цієї роботи було провести дослідження впливу присутності працюючих на концентрації аероіонів. Це здійснювалося відповідно до такої послідовності:

1. провести вимірювання рівнів аероіонів у зоні дихання користувача перед його початком роботи, коли ПК вимкнено, за відсутності користувача під час

роботи ПК, під час роботи користувача на ПК, та поруч з користувачем ПК, але не в зоні його дихання; визначити, чи відбуваються зміни в концентрації легких аероіонів під час цих вимірювань;

2. встановити, чи відбуваються зміни в концентрації з часом, коли користувач відсутній та під час його роботи;

3. визначити, чи відбуваються істотні зміни концентрації аероіонів, коли користувач залишає робоче місце та коли повертається до роботи.

Дослідження було проведено в жовтні 2021 року у приміщенні з розмірами $8 \times 9 \times 3,5$ м, розташованому на 6-ому поверсі. Приміщення не мало систем штучної вентиляції та кондиціонування. Під час проведення вимірювань, вікна були закриті, повітря надходило в приміщення шляхом інфільтрації. Вимірювання проводилися за відсутності людей у неробочий день, були присутні лише користувач ПК та особа, яка реєструвала результати вимірювань (див. рис. 3.6). Відстань між спостерігачем та користувачем ПК становила приблизно 1,5 метра. Стілець, на якому сидів користувач, був дерев'яним із спинкою, яка складалась з двох перетинок шириною 3 сантиметри кожна. В експерименті використовувався ноутбук Acer.

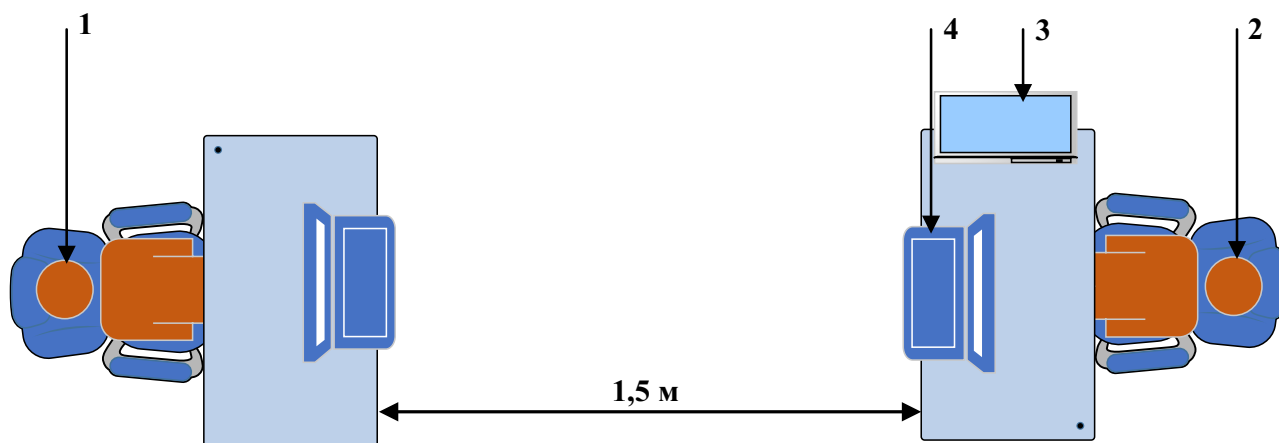


Рис. 3.6. Схематичне розміщення користувача ПК, спостерігача та лічильника аероіонів під час вимірювань: 1 – спостерігач, який фіксував результати вимірювань; 2 – оператор ПК; 3 – лічильник аероіонів; 4 – ПК (ноутбук).

Вимірювання концентрацій аероіонів були здійснені за допомогою лічильника аероіонів «Сапфір-3К» і проведені відповідно до інструкції з експлуатації приладу [73] та методики вимірювань [88]. Вимірювання проводилися в зоні дихання оператора ПК, для цього лічильник було піднято на висоту 20 см над поверхнею робочого столу. Одночасно з вимірюванням концентрацій аероіонів здійснювались вимірювання потужності експозиційної дози гамма-випромінювання (13 мкР/год), температури повітря (20 °С), відносної вологості повітря (58 %) і атмосферного тиску (750 мм.рт.ст.). Умови мікроклімату приміщення були нормативні і залишалися стабільними протягом вимірювань. Тому вплив зазначених параметрів на концентрації аероіонів був мінімальним і, отже, не потребує його урахування.

Вимірювання були проведені протягом двох днів з тижневим інтервалом між ними, згідно з порядком, наведеним у таблиці 3.12. Спочатку протягом двох годин було проведено 6 серій вимірювань (кожна серія складалась з 24 вимірів) кожні 20 хвилин при вимкненому ПК та відсутності користувача. Наступні 6 серій вимірювань кожні 20 хвилин були проведені при працюючому ПК, але без присутності користувача. Для запобігання переходу ПК у режим очікування, на ньому був включений показ фільму у режимі «без звуку». Потім, з метою вивчення впливу саме користувача ПК на концентрації аероіонів, вимірювання проводилися безперервно за таким режимом: 15 хвилин – 1 година – 15 хвилин – 1 година – 15 хвилин. Протягом 15 хвилин користувач залишав робоче місце на перерву, протягом 1 години користувач безперервно працював на ПК. Вибір такого режиму вимірювань був обумовлений відповідно до Державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин № 3.3.2.007-98 [89]. Цей національний норматив залишається чинним, хоча в ньому є посилання на скасовані документи.

Після завершення безперервних вимірювань, що тривали 2 години 45 хвилин, протягом першого дня було проведено годину безперервних вимірювань навколо користувача ПК (по 20 хвилин – зліва, справа та позаду користувача), а в

інший день було проведено 6 серій вимірювань через кожні 20 хвилин при вимкненому ПК та відсутності користувача.

Таблиця 3.12

Порядок проведення вимірювань концентрацій аероіонів
у повітрі на робочому місці користувача ПК

№ з/п	Режим роботи ПК	Режим роботи користувача ПК	Тривалість періоду вимірювань	Інтервал між вимірюваннями та кількість вимірів	Місце вимірювання
1	Виключений	Користувач відсутній	2 години	20 хвилин між серіями по 20 вимірів	Зона дихання користувача ПК
2	Включений	Користувач відсутній	2 години	20 хвилин між серіями по 20 вимірів	Зона дихання користувача ПК
3	Включений	15-хвилинна перерва	15 хвилин	Неперервні вимірювання (180 вимірів)	Зона дихання користувача ПК
4	Включений	1 година роботи користувача	1 година	Неперервні вимірювання (720 вимірів)	Зона дихання користувача ПК
5	Включений	15-хвилинна перерва	15 хвилин	Неперервні вимірювання (180 вимірів)	Зона дихання користувача ПК
6	Включений	1 година роботи користувача	1 година	Неперервні вимірювання (720 вимірів)	Зона дихання користувача ПК
7	Включений	15-хвилинна перерва	15 хвилин	Неперервні вимірювання (180 вимірів)	Зона дихання користувача ПК

Закінчення таблиці 3.12

8*	Включений	1 година роботи користувача	1 година	Неперервні вимірювання (720 вимірів)	Простір навколо користувача ПК, окрім його зони дихання
9**	Виключений	Користувач відсутній	2 години	20 хвилин між серіями по 20 вимірів	Зона дихання користувача ПК

Примітки:

* Вимірювання проводилися лише в перший день;

** Вимірювання проводилися лише в другий день.

Під час аналізу даних, отриманих під час безперервних вимірювань, була здійснена перевірка на наявність випадкових промахів та на нормальний розподіл цих даних [90–93].

В результаті перевірки за критерієм Романовського було виявлено не більше 10 результатів-промахів за кожен день вимірювань, які були виключені при аналізі даних. Що стосується нормальності розподілу, при аналізі було встановлено, що всі масиви даних по кожному часовому проміжку (15 хвилин перерви або 1 година роботи користувача) підпорядковані закону нормального розподілу згідно критерію Пірсона (з довірчою вірогідністю 0,95).

Вимірювання концентрацій аероіонів у зоні дихання користувача ПК проводилися в трьох випадках: коли оператор був відсутній на робочому місці, під час перерви та за його присутності на робочому місці. Для унаочнення результатів безперервних вимірювань концентрацій аероіонів в зоні дихання користувача під час роботи на ПК та під час перерв у 15 хвилин, дані вимірювань були усереднені по 5-хвилинних проміжках (див. табл. 3.13). Перед усередненням дані на кожному 5-хвилинному проміжку були перевірені на наявність зміни концентрацій шляхом побудови ліній тренду, розрахунку рівняння регресії та коефіцієнта детермінації (R^2) у програмі Excel.

Таблиця 3.13

Концентрації аероіонів у зоні дихання оператора ПК

Режим роботи користувача ПК	№ 5-хвилинної серії вимірювань	1 день		2 день	
		Концентрація аероіонів, см ⁻³			
		негативні	позитивні	негативні	позитивні
перерва 15 хвилин	1	232	427	83	396
	2	293	501	184	555
	3	288	516	214	527
1 година роботи на ПК	4	245	380	261	640
	5	312	437	271	635
	6	339	469	353	649
	7	314	435	378	637
	8	345	435	378	604
	9	319	431	296	619
	10	329	437	438	640
	11	333	442	465	675
	12	329	410	545	691
	13	120	150	409	634
	14	345	418	350	647
	15	346	470	473	628
перерва 15 хвилин	16	316	464	480	540
	17	349	501	550	633
	18	346	499	534	665
1 година роботи на ПК	19	319	387	451	599
	20	312	425	493	636
	21	342	418	492	633
	22	335	470	504	623
	23	349	481	422	540
	24	330	458	406	568
	25	254	396	403	570
	26	297	444	396	544
	27	282	444	402	535
	28	117	151	435	582
	29	250	427	444	600
	30	303	463	427	589
перерва 15 хвилин	31	354	385	422	382
	32	428	498	506	502
	33	417	466	508	589

Значення коефіцієнта детермінації (R^2) для більшості проміжків часу було менше 0,5, що свідчить про відсутність зміни концентрацій легких аероіонів під час роботи користувача на ПК та під час його відсутності на робочому місці. Також для кожного масиву даних, що відповідав або проміжку часу роботи користувача (1 година неперервних вимірювань), або проміжку перерви (15 хвилин неперервних вимірювань), був розрахований коефіцієнт варіації за формулою [92]:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%,$$

де σ – це середнє квадратичне відхилення;

\bar{x} – середнє арифметичне значень концентрацій аероіонів.

Розрахований коефіцієнт варіації становив в діапазоні від 14 до 34% для всіх масивів, що свідчить про однорідність даних в межах масивів та підтверджує відсутність зміни значень в їх межах [93].

Також були окремо проаналізовані проміжки часу після закінчення години роботи та перед початком перерви (2 останні хвилини роботи користувача + 2 перші хвилини 15-хвилинної перерви) та після закінчення перерви та перед початком роботи користувача ПК (2 останні хвилини 15-хвилинної перерви + 2 перші хвилини роботи) для виявлення зміни концентрацій аероіонів. Значення коефіцієнта детермінації (R^2) для більшості розглянутих проміжків було менше за 0,5, що підтверджує відсутність зміни концентрацій на цих проміжках.

Для оцінки подібності даних, отриманих при вимірюваннях в перший і другий день, був розрахований коефіцієнт невідповідності Тейла для часових рядів (U) за формулою [91]:

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X_t - Y_t)^2}{\sum_{t=1}^n X_t^2 + \sum_{t=1}^n Y_t^2}},$$

де X_t та Y_t – значення показників часових рядів, що аналізуються на подібність.

Коефіцієнт Тейла, значення якого знаходяться у діапазоні від нуля до одиниці, використовується для визначення ступеня подібності даних. Чим нижче значення коефіцієнта Тейла, тим вищий ступінь подібності даних. Для концентрацій аероіонів, які були отримані в два різні дні і наведені в табл. 3.13, коефіцієнт Тейла склав 0,27 для концентрацій аероіонів обох полярностей. Це свідчить про прийнятну подібність даних вимірювань, які були проведені в різні дні.

Результати усереднених неперервних вимірювань за два дні наведені на рисунку 3.7.

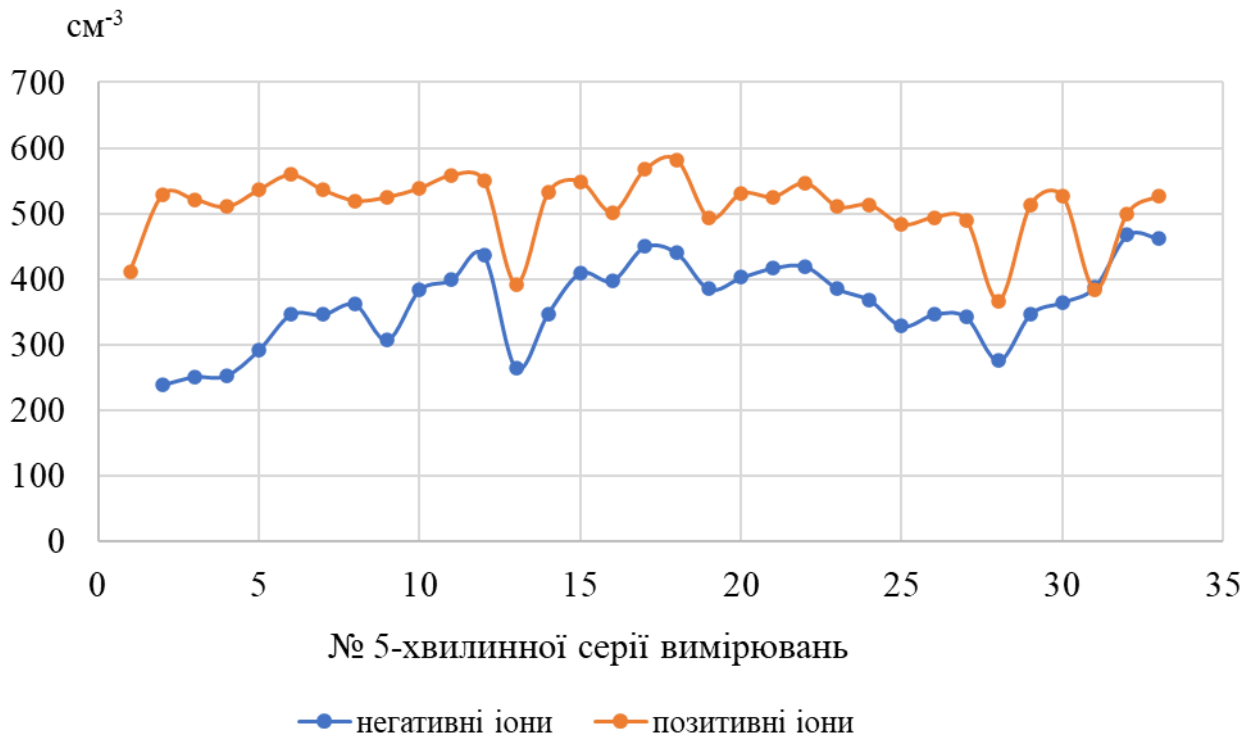


Рис. 3.7. Концентрації легких аероіонів в зоні дихання користувача ПК під час його роботи та під час його відсутності

У зв'язку з тим, що усереднення результатів за 5-хвилинними проміжками не надало чіткої інформації про зміну концентрацій під впливом користувача ПК, було виконано усереднення концентрацій легких аероіонів за режимами роботи та відпочинку користувача (див. табл. 3.14).

Таблиця 3.14

Концентрації аероіонів в зоні дихання користувача ПК
 під час його роботи та під час його відсутності
 (усереднені дані протягом роботи чи відпочинку користувача ПК)

Режим роботи користувача ПК	Концентрація аероіонів, см ⁻³	
	негативні	позитивні
перерва 15 хвилин	215	486
1 година роботи на ПК	355	536
перерва 15 хвилин	429	550
1 година роботи на ПК	372	511
перерва 15 хвилин	439	470
Середнє значення	362	510

Також впродовж першого дня після проведення основного експерименту були здійснені вимірювання концентрацій аероіонів неподалік користувача, проте поза зоною його дихання, з метою виключення впливу фактору дихання. У таблиці 3.15 наведено середні значення, отримані в результаті трьох серій безперервних вимірювань тривалістю 20 хвилин.

Таблиця 3.15

Концентрації аероіонів у повітрі
 в зоні дихання користувача ПК та у прилеглих зонах

Місце вимірювань по відношенню до користувача ПК	Концентрація легких аероіонів, см ⁻³	
	негативні	позитивні
Зліва	374	502
Позаду	394	535
Справа	335	558
Середнє	368	532

Крім даних експерименту щодо впливу користувача ПК на концентрації аероіонів, було проведено серії вимірювань (з 20 вимірів) для визначення концентрацій аероіонів перед початком роботи користувача при вимкненому ПК, під час відсутності користувача при працюючому ПК та під час відсутності користувача після закінчення експерименту при вимкненому ПК. Отримані усереднені дані, разом із усередненими даними експерименту, представлені в таблиці 3.16.

Перевірка нормальності розподілу даних експерименту та виявлення промахів свідчать, що результати вимірювань є значеннями, що мають нормальний розподіл, і можуть бути використані у науковому дослідженні. Крім того, коефіцієнт Тейла свідчить про задовільну подібність даних, отриманих під час проведення експерименту у різні дні.

Результати експерименту, спрямованого на встановлення впливу користувача ПК на динаміку концентрацій аероіонів в зоні його дихання, свідчать про відсутність цієї динаміки внаслідок впливу користувача. Іншими словами, присутність користувача ПК на робочому місці не є фактором впливу на концентрації аероіонів [94]. Хоча були зроблені припущення, що присутність користувача ПК на робочому місці зумовлює динамічні зміни, зменшення або збільшення, при наявності або відсутності відповідно. Це підтверджується досить низькими значеннями коефіцієнта кореляції та коефіцієнта варіації.

Коливання зафіксованих концентрацій можуть бути пояснені природними коливаннями рівнів іонізації повітря та інструментальними похибками вимірювання. Особлива увага була приділена коливанням концентрацій при зміні режиму роботи на ПК в режим відпочинку і навпаки. Однак, навіть в цих коротких періодах (4 хвилини) не було виявлено динаміки концентрацій ($R^2 < 0,5$). Результати вимірювань концентрацій поблизу користувача, але поза зоною його дихання також не свідчать про динаміку ($R^2 < 0,5$).

Концентрації аероіонів на робочому місці користувача ПК

Опис місця, часу та умов, при яких були проведені вимірювання	Концентрація аероіонів, см ⁻³		Показник полярності, П
	негативні	позитивні	
При вимкненому ПК та під час відсутності користувача (6 серій по 20 вимірювань через кожні 20 хвилин)	406	805	0,33
При ввімкненому ПК та під час відсутності користувача (6 серій по 20 вимірювань через кожні 20 хвилин)	422	611	0,18
Під час проведення експерименту по впливу користувача ПК на аероіони (неперервні вимірювання протягом 2 год. 45 хв.)	362	510	0,17
Під час роботи користувача ПК, поза зоною його дихання (неперервні вимірювання протягом 1 години, тільки в перший день)	368	532	0,18
Після експерименту, при вимкненому ПК та за відсутності користувача (6 серій по 20 вимірювань через кожні 20 хвилин, тільки на другий день)	516	540	0,02

Аналіз усереднених концентрацій за режимами роботи користувача (табл. 3.16) не привів до чіткого виявлення впливу фактору на динаміку концентрацій аероіонів, при цьому відмінності між отриманими результатами повністю вкладалися в межі похибки вимірювань.

Порівняння динаміки концентрацій аероіонів до ввімкнення ПК, під час роботи ПК, під час експерименту та після експерименту виявило, з одного боку, відсутність істотних змін у концентрації негативних аероіонів (зміни знаходилися в межах похибки вимірювань), а з іншого боку, виявлено зміни в концентрації позитивних аероіонів. Зниження концентрації позитивних аероіонів унаслідок функціонування ПК становило 24 % від фонового значення, а зниження, спричинене роботою користувача, складало 33 % (або 12 % від концентрації під час роботи ПК до початку роботи користувача). Протягом двох годин після закінчення роботи користувача та ввімкнення ПК концентрація позитивних аероіонів не повернулася до вихідного фонового рівня. Варто також зазначити, що не було виявлено різниці в концентраціях аероіонів у повітрі біля оператора в зоні його дихання та поза цією зоною, що свідчить про те, що основним чинником деіонізації в даному випадку було осідання аероіонів на одязі та тілі людини.

Що стосується балансу аероіонів, помітна перевага позитивних аероіонів над негативними, яку спостерігали до ввімкнення ПК, протягом і після експерименту, змінилася більш збалансованим співвідношенням, яке є характерним для природних концентрацій аероіонів.

Враховуючи складність співвідношень процесів іонізації – деіонізації повітря у виробничих приміщеннях було проведено серію експериментів щодо динаміки аероіонного складу повітря у однотипних приміщеннях. На рис. 3.8 наведено результати вимірювань концентрацій аероіонів під час робочого дня.

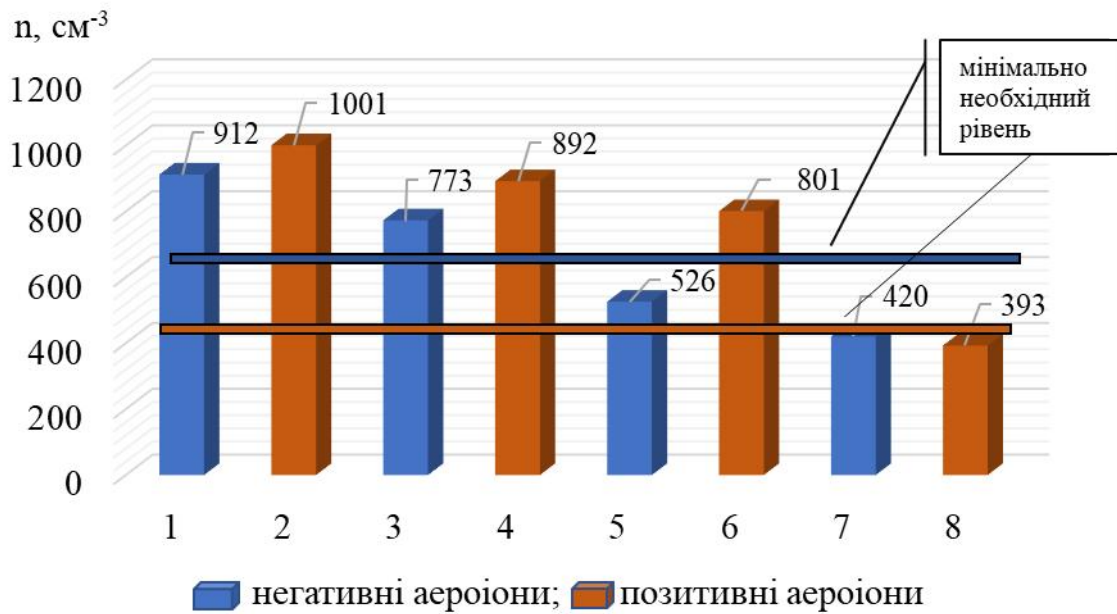


Рис. 3.8. Динаміка концентрацій аероїнів у приміщенні зі стаціонарним ПК

Значення 1, 2 відповідають концентраціям аероїнів на початку робочого дня (все обладнання вимчене, напруженість електростатичного поля на підлозі несуттєва), значення 3, 4 відповідають концентраціям аероїнів на відстані 3,0–3,5 (увімкнене усе допоміжне обладнання і персонал пересувався, напруженість електростатичного поля зросла до 7 кВ/м). Значення 5, 6 відповідають концентрації аероїнів на робочому місці користувача ПК за його відсутності, ПК працює у режимі виконання задачі, напруженість електростатичного поля 4–5 кВ/м. Значення 7, 8 відповідають концентраціям аероїнів на робочому місці за присутності користувача, напруженість електростатичного поля підвищилася до 6,5–7,0 кВ/м.

Аналогічні дослідження були проведені у однотипному приміщенні із застосуванням переносного ПК (ноутбука). Результати досліджень наведені на рис. 3.9.

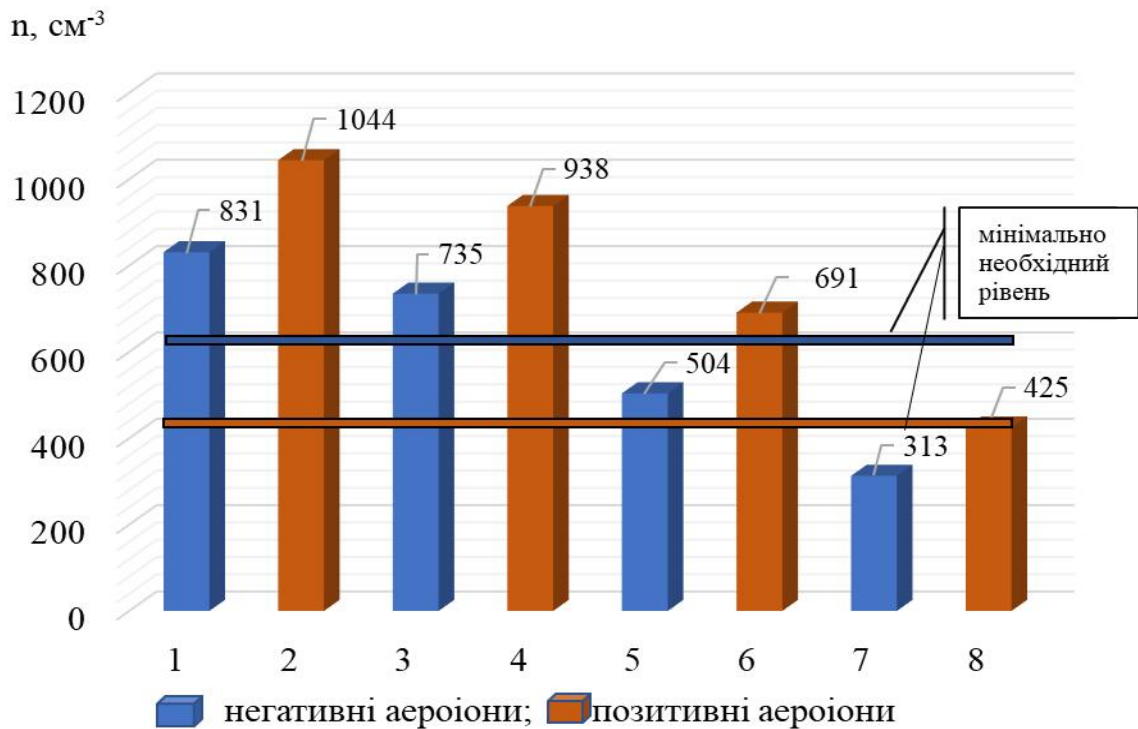


Рис. 3.9. Динаміка концентрацій аероїнів у приміщенні із застосуванням переносного ПК (ноутбука)

Значення 1, 2 відповідають фоновим вимірюванням, значення 3, 4 – на робочому місці, коли переносний ПК (ноутбук) працює від акумуляторної батареї, значення 5, 6 відповідають концентраціям іонів, коли ноутбук працює від електромережі через джерело живлення. У цьому випадку, напруженість електростатичного поля поступово зростає до 2–3 кВ/м. Скоріше за все це обумовлено трибоелектричним ефектом через пересування людей. Але не можна виключити певний вплив системи електроживлення. Значення 7, 8 відповідають концентраціям іонів на робочому місці користувача стаціонарного комп'ютера, напруженість електростатичного поля залишається на тому ж рівні у межах похибки. Як видно з рис. 3.8–3.9 концентрації аероїнів обох знаків мають тенденцію до зниження, при чому, крім технічного засобу на ці показники впливають електростатичні поля. Тому було досліджено вплив електризації підлогових покриттів на концентрації аероїнів. На рис. 3.10 наведені результати

вимірювань концентрації іонів у однотипних кімнатах (у робочий час) за наявності синтетичного підлогового покриття і без нього.

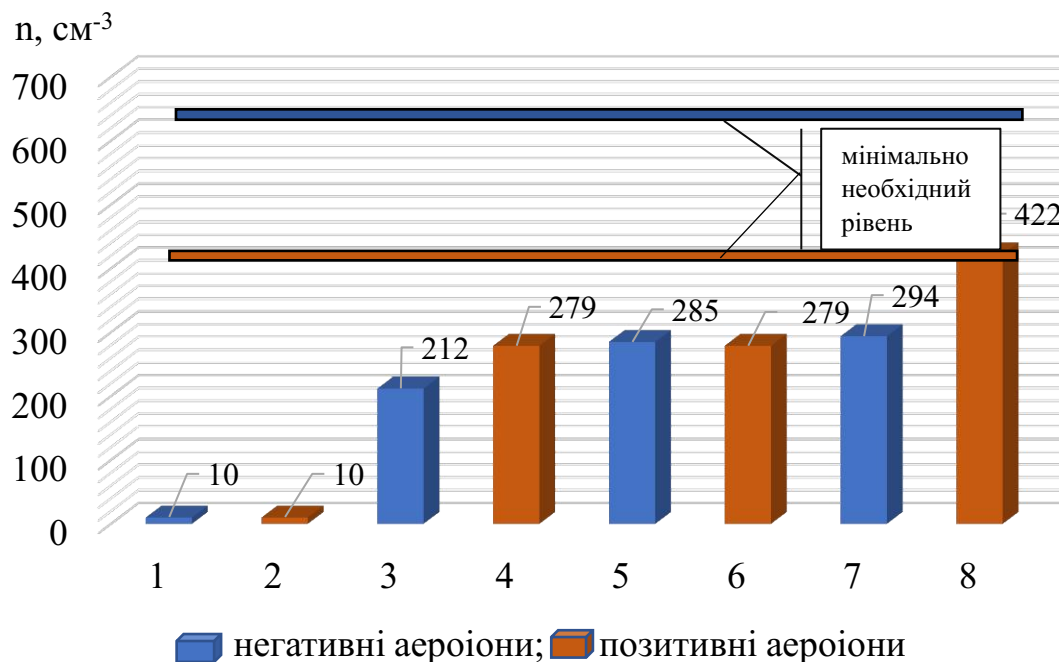


Рис. 3.10. Динаміка концентрації іонів у однотипних кімнатах (у робочий час) за наявності синтетичного підлогового покриття і без нього

Значення 1, 2 відповідають концентраціям аероіонів на висоті 0,5 м від підлоги з покриттям, а 3, 4 – на висоті 1 м від підлоги з покриттям. Значення позицій 5, 6 відповідають значенню на висоті 0,5 м над паркетною підлогою, а значення 8, 9 – на висоті 1 м над паркетною підлогою. Як видно, ковровіне покриття дуже сильно впливає на концентрацію аероіонів у приміщенні. Для підтвердження цього факту аналогічні вимірювання були проведені у тих самих приміщеннях у вихідні дні (рис. 3.11).

Значення 1, 2 відповідають концентраціям іонів на висоті 0,5 м від підлоги з ковровіном; 3, 4 – на висоті 1 м від підлоги з ковровіном; значення 5, 6 відповідають концентраціям іонів на висоті 0,5 м над паркетною підлогою, 7, 8 – на висоті 1 м над паркетною підлогою.

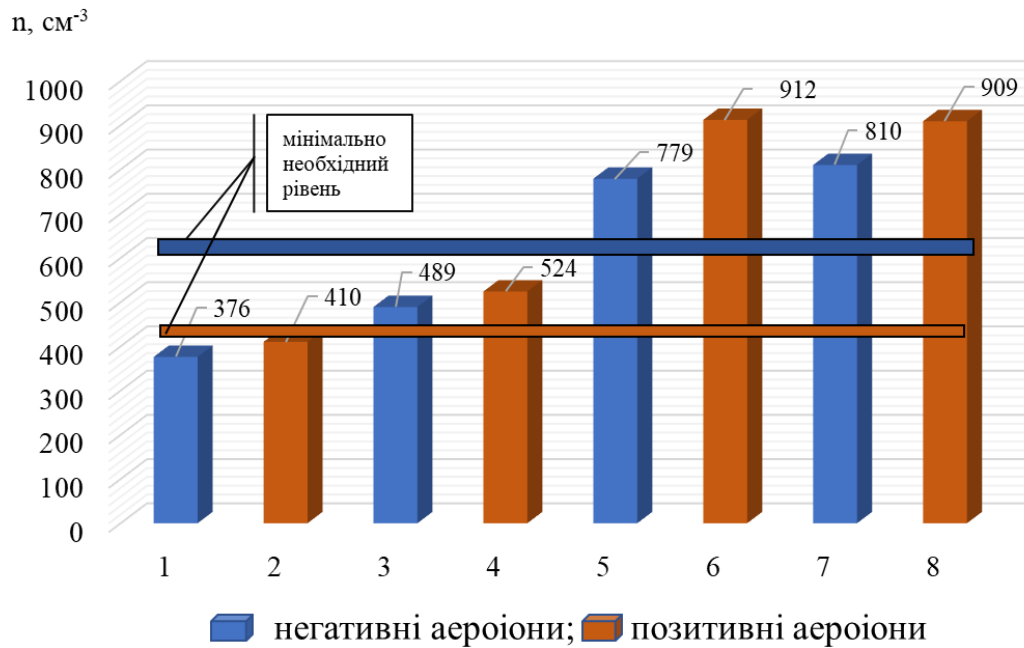


Рис. 3.11. Динаміка концентрації іонів у приміщеннях з ковроліновим покриттям і без нього

Аналізуючи дані рис. 3.10–3.11 можна дійти висновку, що значна деіонізація повітря відбувається у приміщеннях з ковроліновим покриттям, а електростатичний заряд утворюється внаслідок трибоелектричного ефекту. Частково такий ефект і в приміщеннях з паркетом, але можливі і більш складні механізми деіонізації (наприклад наявність на невеликій висоті над підлогою дрібнодисперсного пилу, який поглинає аероіони). Як видно з рис. 3.6 статичний заряд на синтетичному покритті певний час зберігається, тому для його зняття необхідно здійснювати зволоження поверхні підлоги. За нормальних умов, принаймні чистої підлоги, вона не впливає на концентрації іонів за наявності паркетного покриття.

Для з'ясування внеску електризації поверхонь та працюючого ПК у деіонізацію повітря було проведено експеримент у приміщенні з підлоговим ковроліновим покриттям і наявності одного стаціонарного комп'ютера (рис. 3.12).

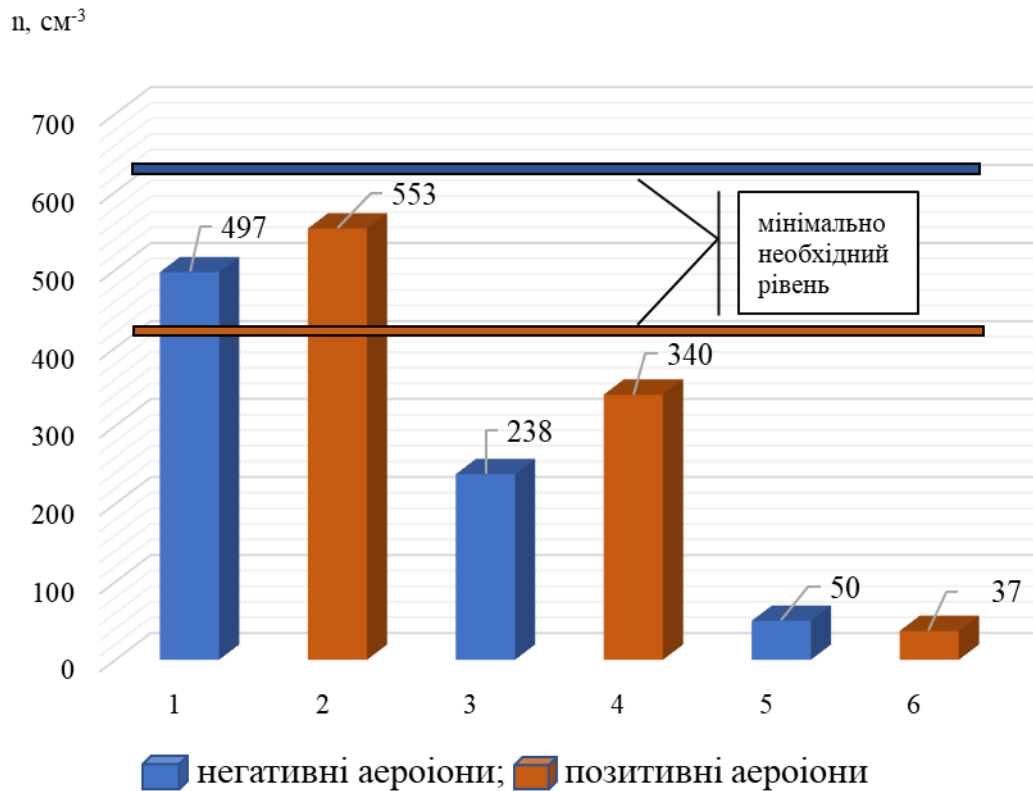


Рис. 3.12. Динаміка концентрацій аероіонів у приміщенні з одним стаціонарним комп'ютером

Значення 1 і 2 відповідають концентраціям аероіонів у приміщенні на початку робочого дня з повністю вимкненим обладнанням. Залишкове електростатичне поле складає 0,2–0,4 кВ/м. Значення 3, 4 – умовам коли, включений на вирішення певної задачі ПК і користувач на робочому місці відсутній. Тобто, за рахунок роботи ПК відбувається певна деіонізація повітря. За присутності користувача (значення 5, 6) відбувається повна деіонізація повітря. При чому на ковріновому покритті в зоні перебування оператора напруженість електростатичного поля зростає з 5,0 до 12–13 кВ/м.

Можна дійти висновку, що деіонізація відбувається як за рахунок прямого трибоелектричного ефекту (наприклад, тертя взуття по поверхні), так і електризації поверхні на робочому місці. Контрольні вимірювання електризації поверхонь крісла показали, що напруженості електростатичних полів склали 3–6 кВ/м. При цьому було порівняно електризації поверхонь багатьох крісел

(виготовлених з різних матеріалів), ступені електризації та знаки зарядів виявилися непередбачуваними.

Враховуючи, непередбачуваність було досліджено можливість проектування приміщень з розміщенням технічних засобів, яке забезпечує прийнятні концентрації аероіонів. При цьому враховувалися концентрації напруженості електростатичних полів, виходячи зі співвідношень:

$$\begin{cases} \frac{dn^-}{dt} = q - \alpha n^- n^+ - \beta^- n^- N^+ - \beta_0^- n^- N - \frac{\mu^- E n^-}{r^2} + \frac{\mu^- E n_{r+1}^-}{(r+1)^2} \\ \frac{dn^+}{dt} = q - \alpha n^- n^+ - \beta^+ n^+ N^- - \beta_0^+ n^+ N - \frac{\mu^+ E n^+}{r^2} + \frac{\mu^+ E n_{r-1}^+}{(r-1)^2} \end{cases},$$

де n^- та n^+ – відповідно концентрації негативних та позитивних легких аероіонів, см^{-3} ;

q – рівень генерації пар легких аероіонів, см^{-3} ;

α – коефіцієнт рекомбінації легких аероіонів;

β^- та β^+ – коефіцієнт осадження відповідно негативних та позитивних легких аероіонів на важких аероіонах протилежної полярності;

N^- та N^+ – відповідно концентрації негативних та позитивних важких аероіонів, см^{-3} ;

β_0^- та β_0^+ – коефіцієнт осадження відповідно негативних та позитивних легких аероіонів на нейтральних частинках;

N – концентрація нейтральних частинках, см^{-3} ;

μ^- та μ^+ – рухливість відповідно негативних та позитивних легких аероіонів, згідно $\mu^- = 1,66 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, $\mu^+ = 1,19 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$;

E – напруженість електростатичного поля на відстані 1 см від його джерела, $\text{В}/\text{см}$;

r – відстань від джерела електростатичного поля до досліджуваного 1 см^3 повітря, см ;

n_{r-1}^+ – концентрація легких позитивних аеріонів у об'ємі 1 см^3 , що суміжний з досліджуваним зі сторони джерела електростатичного поля, см^{-3} ;

n_{r+1}^- – концентрація легких негативних аеріонів у об'ємі 1 см^3 , що суміжний з досліджуваним протилежно стороні джерела електростатичного поля, см^{-3} .

На рис. 3.13 відображена зміна концентрацій аеріонів з відстанню від носія електростатичного поля.

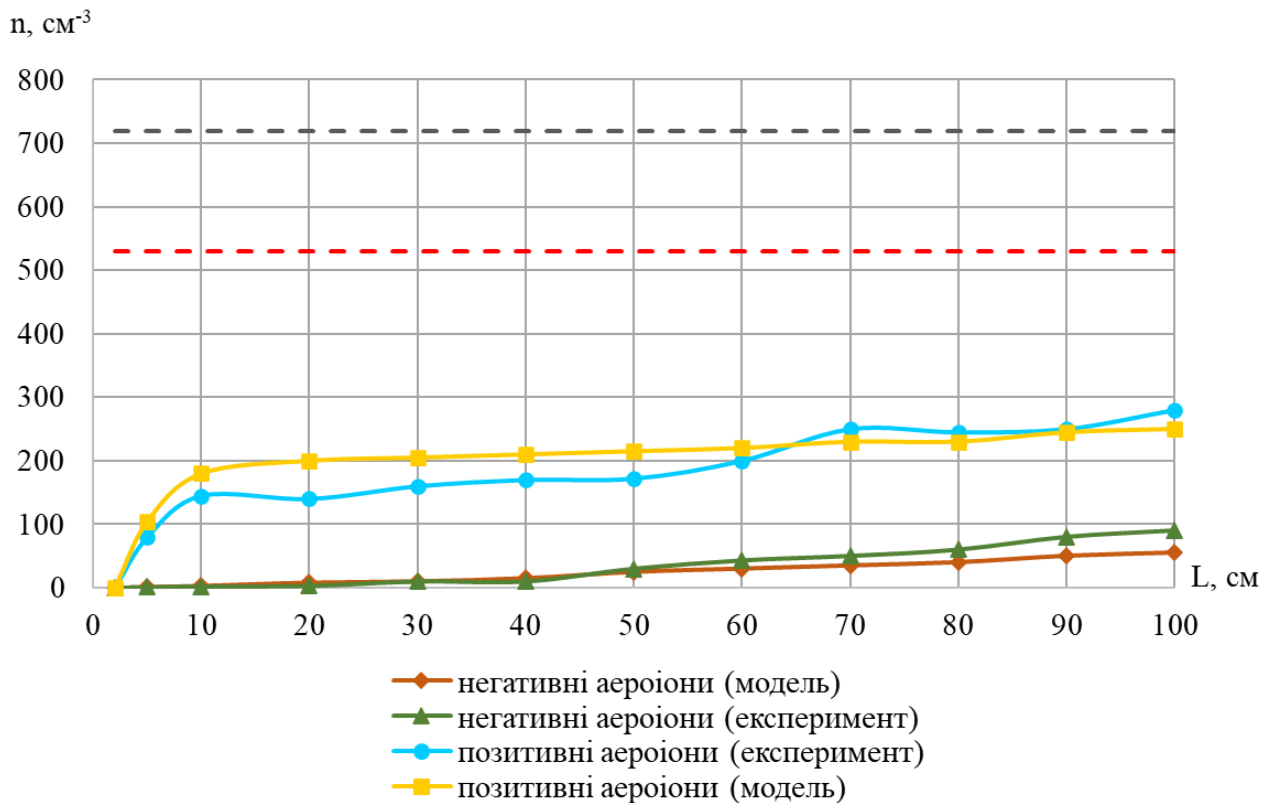


Рис. 3.13. Експериментальні та розраховані концентрації аеріонів поблизу джерела ЕСП напруженістю 50–55 кВ/м

Аналогічні розрахунки були проведені для напруженості поля 90–100 кВ/м та 140–150 кВ/м. Як видно з даних рис. 3.13–3.15.

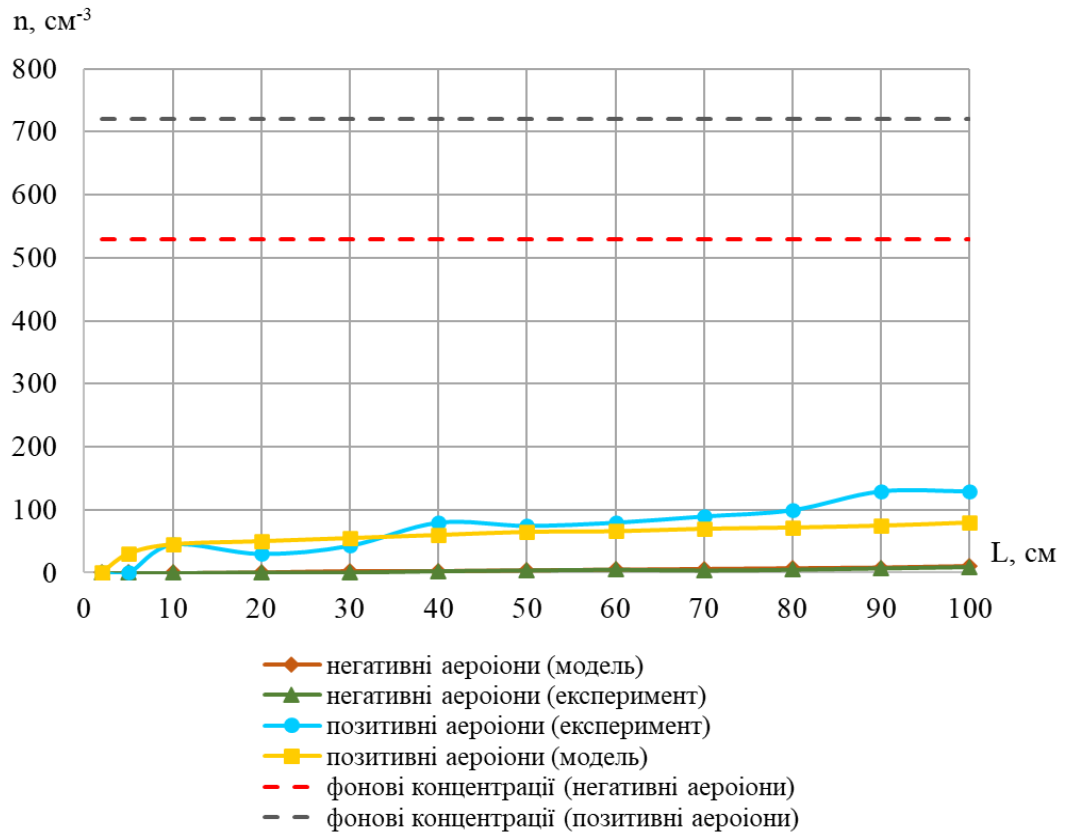


Рис. 3.14. Динаміка концентрації аероіонів залежно від відстані до джерела ЕСП (напруженість поля 90–100 кВ/м)

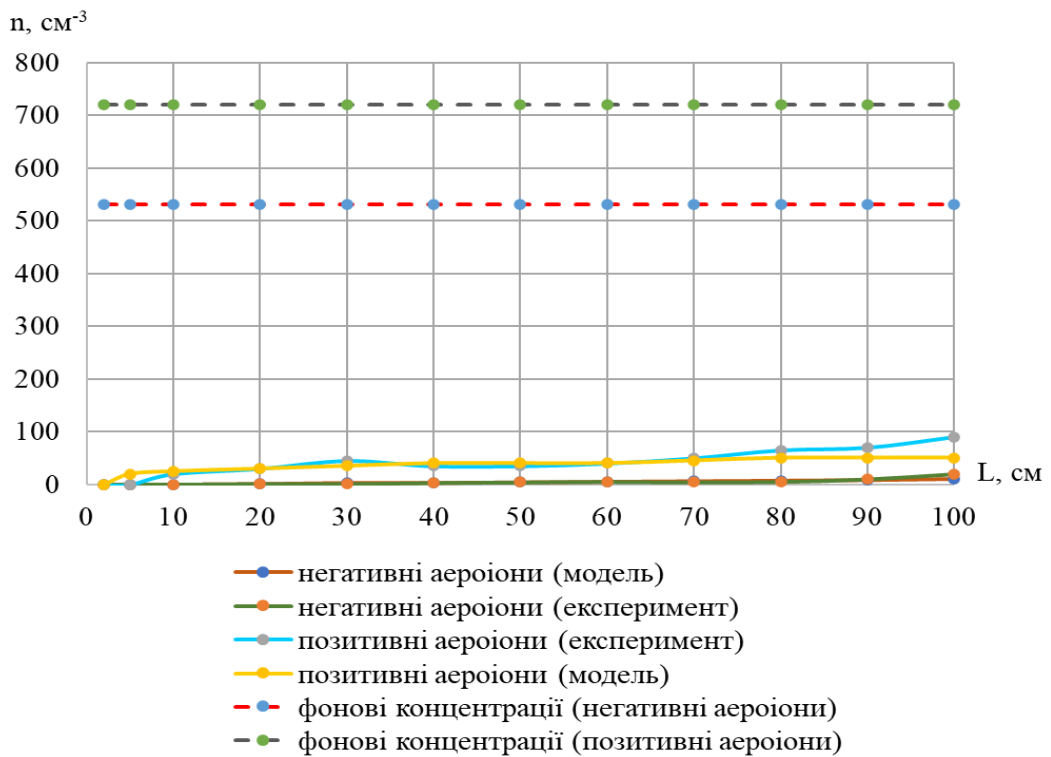


Рис. 3.15. Динаміка концентрації аероіонів залежно від відстані до джерела ЕСП (напруженість поля 140–150 кВ/м)

Як видно з рис. 3.13–3.15 збіг розрахункових та експериментальних даних досить прийнятний, що можна застосовувати для проєктування приміщень. Але є два фактори, на які слід звернути увагу у процесі проєктування. По-перше, електризація полімерних покриттів відбувається локально у зонах тертя і заряд не перетікає по поверхні, тому, в загальному випадку, не можна розглядати суцільно заряджену площину. По-друге, за малих напруженостей електростатичного поля збільшуються розбіжності між експериментальними і розрахунковими даними. Враховуючи, що норматив [2] вимагає наявності електростатичного поля не більше 0,5 кВ/м, головну увагу потрібно приділяти саме зниженню поверхневих електростатичних зарядів [95].

3.4. Дослідження динаміки аероіонів у навчальних приміщеннях

Навчальні приміщення мають певну специфіку щодо змін кількісних значень фізичних факторів. Як свідчить аналіз наукових публікацій, зміна температури, відносної вологості обумовлена присутністю великої кількості людей. Але щодо впливу людей на концентрації аероіонів дані неоднозначні. У класичній літературі вважалося, що присутність, наприклад, у [4, 8] вважалося, що присутність людей деіонізує повітря, снаслідок їх дихання. Але більш ґрунтовні дослідження [16, 18] показали, що такий вплив є незначним. Тому це питання потребує уточнення, що доцільно робити у навчальних приміщеннях, де кількість людей заздалегідь значна відносно об'єму приміщення.

В аудиторії для практичних та семінарських занять (площа 42 м²) постійно перебувало 18–20 студентів. Температура повітря при проведенні вимірювання складала 18–19 °С, відносна вологість 40–42 %. Вентиляція приміщення відбувалася за рахунок інфільтрації повітря (рис. 3.16–3.17).

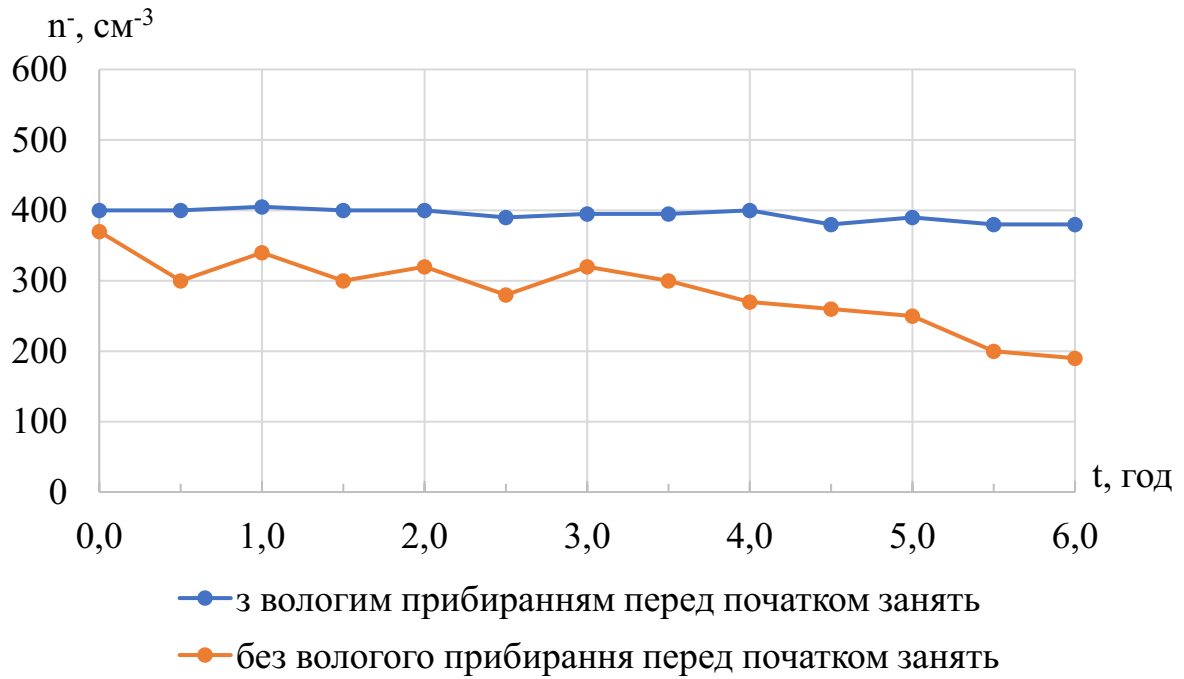


Рис. 3.16. Часова зміна концентрації негативних аероіонів в аудиторії для практичних та семінарських занять. Значення «0» відповідає 8.00 год

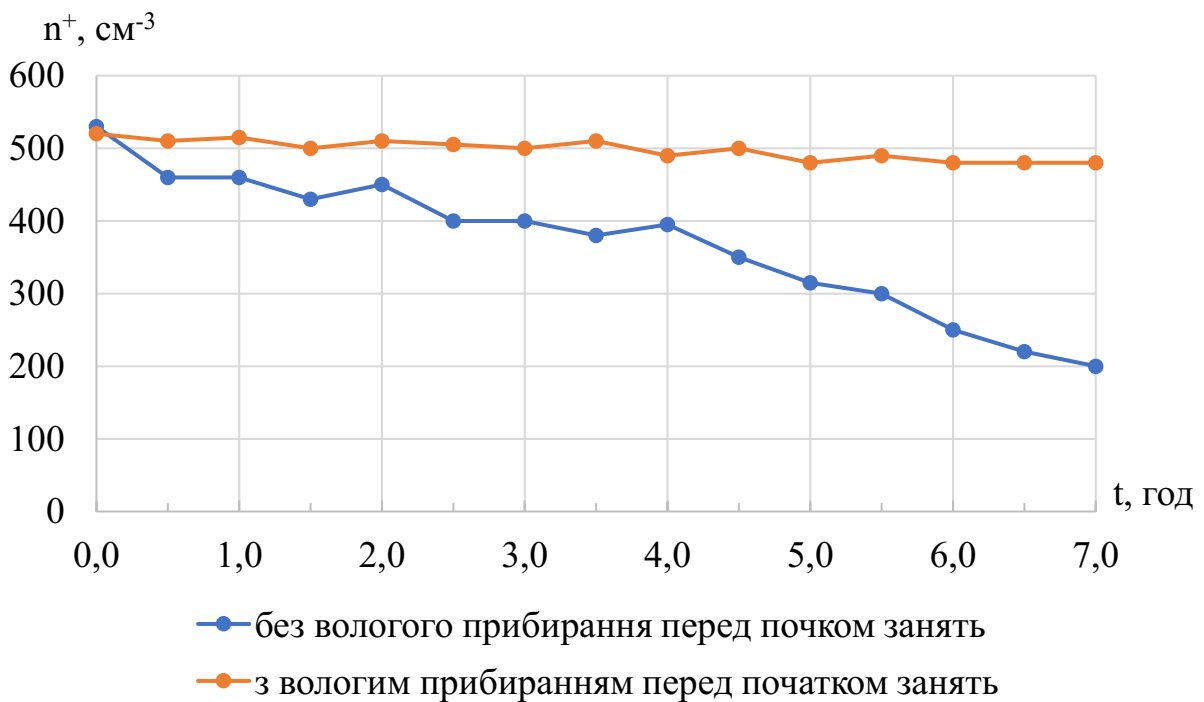


Рис. 3.17. Часова зміна концентрації позитивних аероіонів в аудиторії для практичних та семінарських занять. Значення «0» відповідає 8.00 год

Зниження концентрацій аероіонів упродовж навчального дня була досить очікуваною. Але за перші три години відбувається майже циклічна зміна концентрацій. Особливо наочно це видно для негативних аероіонів у випадку, коли вологе прибирання не проводилося. Зазвичай у конкретному приміщенні або будівлі генерація іонів у природній спосіб (природна радіоактивність) постійна.

Тому, зниження концентрації під час появи людей, можна з великою вірогідністю пояснити появою у повітрі дрібнодисперсного пилу. Відомо, що він поглинає аероіоний і деіонізує повітря.

Коли під час занять пил частково осідає відбувається підвищення концентрації аероіонів. Протягом більш довгого часу у повітрі з'являються аерозолі й стала кількість пилу, тому вміст аероіонів зменшується. Певну роль відіграє й зростання температури та відносної вологості у замкненому просторі (до 22–23 °С та 40–42 %).

Про основну роль пилу у деіонізації повітря свідчить більша стабільність концентрації аероіонів обох знаків у випадку попереднього вологого прибирання (протиралися підлога та поверхні столів).

У лекційній аудиторії через великий об'єм коливань концентрації не спостерігалось (рис. 3.18).

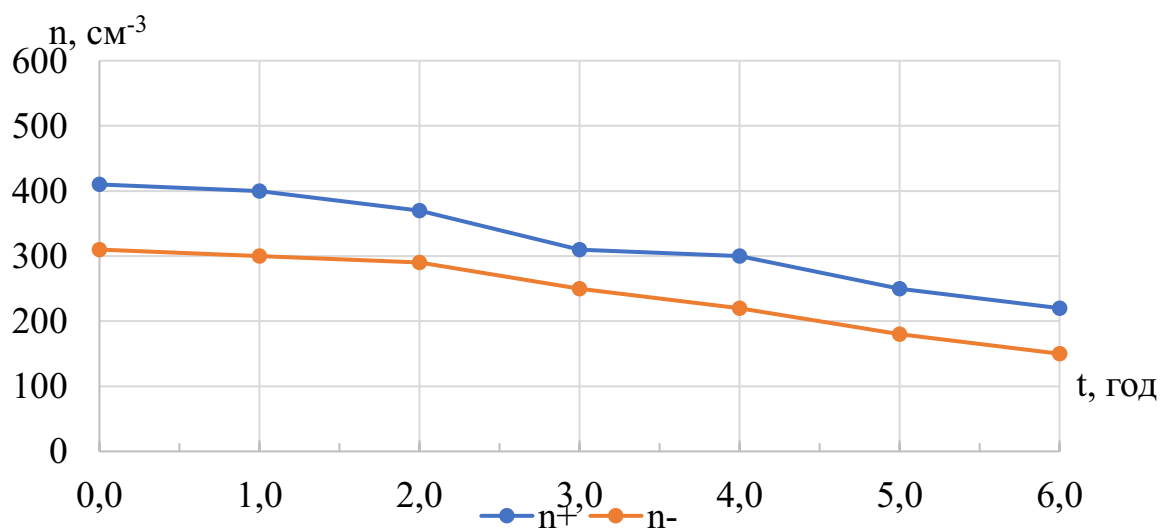


Рис. 3.18. Часова зміна концентрації аероіонів в лекційній аудиторії.

Значення «0» відповідає 8.00 год

Має місце монотонне зниження вмісту аероіонів у повітрі, що цілком очікувано. Це результат пилоутворення у процесі заповнення аудиторії студентами та покидання аудиторії під час перерви.

Можна дійти висновку, що у разі неможливості забезпечити штучну іонізацію повітря, доцільно стабілізувати природній фон періодичним вологим прибиранням.

Враховуючи встановлений вплив вологого прибирання на концентрації аероіонів, це питання було досліджено більш ретельно. Результати дослідження впливу режиму прибирання на динаміку концентрацій аероіонів представлені на рис. 3.19.

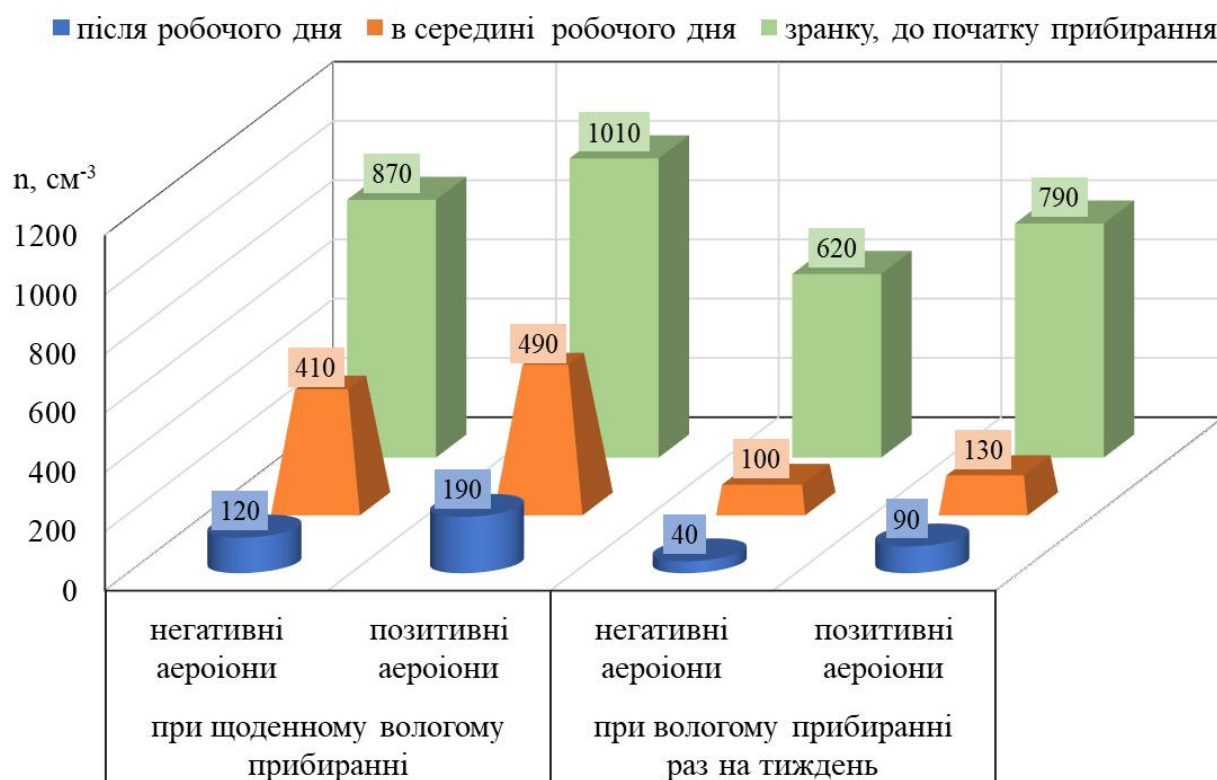


Рис. 3.19. Залежність динаміки аероіонів у приміщенні від режиму вологого прибирання

Як видно з рис. 3.19 щоденне вологе прибирання, навіть за перебування великої кількості людей у приміщенні, стабілізує, принаймні на половину робочого дня, концентрацію аероіонів у приміщенні на нормативному рівні.

Висновки до розділу 3

1. Встановлено, що ультразвукові зволожувачі повітря одночасно з підвищенням відносної вологості іонізують повітря. У процесі підвищення відносної вологості з 37 % до 48 % концентрації негативних іонів підвищуються з 240 до 560 см⁻³, позитивних – з 260 до 460 см⁻³. При цьому спостерігається зниження напруженості електростатичного поля з 5,1 до 0,2 кВ/м. Зона гарантованого впливу зволожувача складає 1,0–1,5 м. Ефективність методу залежить від часу доби через різні значення й пропорції полярностей аероіонів у зовнішньому повітрі.

2. Системи охолодження повітря деіонізують повітря приміщень. Ступені деіонізації коливаються для негативних аероіонів від 1–2 до 25 %, для позитивних – від 40 до 85 %. Порівняння різних систем охолодження повітря свідчить про непередбачуваність їх впливу на концентрації аероіонів.

3. Дослідження динаміки аероіонного складу повітря на робочих місцях користувачів персональних комп'ютерів показали, що головним фактором деіонізації повітря на робочих місцях користувачів є електростатичні поля. Напруженості полів поверхонь моніторів, поверхонь принтерів, офісних крісел коливаються у межах 2,0–10 кВ/м. При цьому знаки поверхневих електростатичних зарядів непередбачувані. Радіуси впливу цих полів – 0,5 м. Зниження концентрації аероіонів складає: для негативних до 500 см⁻³, для позитивних – 600 см⁻³.

4. Прямого функціонального впливу присутності користувача на робочому місці на концентрації аероіонів не встановлено. Вимірювання впливу дихання користувача на цей параметр перебуває у межах похибки приладу. Деякі суттєві зміни скоріше за все обумовлені наявністю дрібнодисперсного пилу та зміною електризації полімерних поверхонь.

5. На робочих місцях користувачів стаціонарних і переносних комп'ютерів спостерігається стійка тенденція деіонізації повітря. У середньому концентрації аероіонів знижуються з 900–1000 см⁻³ до 300–400 см⁻³. При цьому механізм

деіонізації неоднозначний. Головним чинником під час пересування людей є електризація підлоги. Для синтетичних покриттів при однакових відстанях від ковровіну та паркету концентрації аероіонів обох знаків над паркетом на 200–300 см⁻³ більше для обох полярностей.

6. У навчальних приміщеннях (аудиторіях загального призначення) головним чинником деіонізації повітря є дрібнодисперсний пил. Про це свідчить коливання концентрацій аероіонів у процесі навчального часу. Систематичне вологе прибирання стабілізує концентрації аероіонів на фоновому рівні.

РОЗДІЛ 4

ЗАСОБИ І ЗАХОДИ НОРМАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕНТРАЦІЙ АЕРОІОНІВ У ПОВІТРІ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Планування заходів та визначення засобів нормалізації та підтримання на нормативному рівні концентрації аероіонів у приміщеннях, які перебувають в експлуатації, можливо на основі натурних вимірювань концентрації аероіонів у залежності від часу доби, дня тижня, пори року тощо. Але у процесі проектування нових приміщень і будівель в цілому, модернізації обладнання, при проведенні капітальних і поточних ремонтів, однозначно визначити перелік і вміст відповідних заходів неможливо. Тому на попередньому етапі доцільно визначити майбутній аероіонний режим приміщення. При цьому необхідно врахувати можливі чинники іонізації, деіонізації повітря, режим вентиляції, кондиціонування повітря тощо.

4.1. Прогнозування аероіонного режиму приміщень у залежності від факторів іонізації та деіонізації повітря

Відомо, що концентрації аероіонів обох знаків у нормальних умовах (без штучної іонізації/ деіонізації повітря) залежать від рівня іонізуючих фонових випромінювань. Для оцінки цього впливу доцільно застосувати позасистемну одиницю іонізуючого випромінювання – рентген. За визначенням $1R \approx 2,6 \times 10^{-4}$ Кл/кг, що відповідає генерації за нормальних умов (300 K; $1,3013 \times 10^5$ Н/м²) у сухому повітрі складає $2,08 \times 10^9$ пар іонів у одному кубічному сантиметрі повітря. Таким чином, можна визначити природну генерацію аероіонів у залежності від радіаційного фону у приміщенні [95].

Але процес генерації аероіонів супроводжується їх рекомбінацією, тобто існує середній час життя аероіонів у даних умовах. Масогабаритні характеристики іонів практично не відрізняються від характеристик

неіонізованих молекул. Середній час життя τ можливо розрахувати, виходячи зі співвідношень молекулярно-кінетичної теорії газів:

$$\tau = \frac{\bar{\lambda}}{v},$$

де λ – середня довжина пробігу до зіткнення з іншим іоном, v – середня швидкість аероіона.

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\pi \sigma^2 n_0},$$

де σ – ефективний діаметр іона;
 n_0 – концентрація.

Середні швидкості молекул визначаються розподілом Максвелла. Для нормальних умов $v \approx 5 \cdot 10^4$ см/с, $\sigma \approx 2,8 \cdot 10^{-6}$ см. Тому для мінімально допустимих концентрацій негативних аероіонів $\tau \approx 1 \cdot 10^3$ с, для оптимальних концентрацій $\tau \approx 1,2 \cdot 10^2$ с.

Для зміни концентрацій аероіонів з часом та відстанню від джерела іонізації можливо застосувати рівняння неперервності для слабоіонізованої плазми:

$$\frac{\partial n(r,t)}{\partial t} - g(r,t) + \frac{n(r,t) - n_0}{\tau} - \frac{1}{g} \operatorname{div} j - \frac{\partial n(r,t)}{\partial x} \cdot v(r,t),$$

де $n(r, t)$ концентрація аероіонів у точці з радіус-вектором r в момент часу t ;
 $g(r, t)$ – кількість аероіонів, що генеруються у даній точці у одиниці об'єму в одиницю часу;

n_0 – фонова концентрація аероіонів;

τ – середній час життя аероіона;

g – заряд аероіона;

j – густина електричного струму за рахунок руху аероіонів;

v – швидкість потоку повітря.

Зазвичай, без спеціальних заходів швидкість руху невелика, тому електричним струмом можна нехтувати:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = g_0 - \frac{n - n_0}{\tau}.$$

Враховуючи, що:

$$g_0 = \frac{n_0}{\tau} - const,$$

маємо лінійне диференціальне рівняння першого порядку, розв'язком якого є:

$$n = C \cdot e^{\frac{t}{\tau}} - g_0 \tau + n_0.$$

Стала інтегрування C визначається за конкретних умов – початкової умови Коші:

$$n(t) \Big|_{t=0} = n_0.$$

За малих концентрацій аероіонів порівняно з концентраціями молекул повітря та відсутності його спрямованого руху доцільно застосувати співвідношення кінетичної теорії газів для розповсюдження за рахунок дифузійних процесів:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = g(x, t) - D \left(\frac{\partial^2 n}{\partial x^2} \right) - \frac{n - n_0}{\tau_n},$$

де D – коефіцієнт дифузії іонів;

τ_n – середній час життя за даних умов.

Враховуючи, що рухомості легких аероіонів відомі зі спектра рухомостей, коефіцієнт дифузії однозарядного іона визначається із формули Ейнштейна:

$$D = \frac{kTK}{e},$$

де k – стала Больцмана;

T – температура;

K – рухомість аероіона;

e – заряд електрона.

Практичне значення в умовах штучної іонізації повітря представляє випадок неперервної роботи джерела іонізації:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = 0.$$

За цієї умови рівняння неперервності має вигляд:

$$\frac{d^2 n}{dx^2} - \frac{1}{D\tau} = \frac{g}{D} - \frac{n_0}{D\tau}.$$

Для отримання кількісних даних необхідно задати крайові умови:

$$n \Big|_{x=0} = n_1, \quad n \Big|_{x=l} = n_0,$$

де l – відстань, на якій концентрація аероіонів зрівнюється з фоновою.

За стандартного розв'язку рівняння отримуємо:

$$n(x) = g\tau \cdot e^{\frac{l-x}{\sqrt{D\tau}}} + g\tau.$$

Цей розрахунок може бути тільки оціночним через певні розбіжності з вимірюваннями, що можна пояснити неврахованим електростатичним полем та взаємодіями іонів з нейтральними молекулами.

За припинення штучної генерації іонів:

$$\frac{dn}{dt} = -\alpha n^2,$$

де n – концентрація аероіонів;

α – коефіцієнт рекомбінації.

Тобто:

$$\int_0^t \alpha dt = -\int_{n_0}^n \frac{dn}{n^2},$$

де n_0 – концентрація аероіонів у момент припинення їх генерації;

n – за проміжок часу t .

Це надає можливість визначити прийнятну періодичність вмикання іонізатора. Але у приміщеннях обмежених об'ємів з наявністю у повітрі пилу та аерозолей, ці фактори необхідно враховувати для отримання коректних результатів.

Для більш точного визначення концентрацій легких аероіонів необхідно враховувати наявність у повітрі нейтральних частинок і важких аероіонів, на які

відбувається адсорбція легких аероіонів. Це зменшує їх концентрації у повітрі приміщень. Такий процес можна описати рівняннями:

$$\frac{dn^-}{dt} = q - \alpha n^- n^+ - \beta^- n^- N^+ - \beta_0^- n^- N,$$

$$\frac{dn^+}{dt} = q - \alpha n^- n^+ - \beta^+ n^+ N^- - \beta_0^+ n^+ N,$$

де n^- , n^+ – концентрації негативних та позитивних легких аероіонів, см^{-3} ;

q – рівень генерації пар легких аероіонів, см^{-3} ;

α – коефіцієнт рекомбінації легких аероіонів;

β^- , β^+ – коефіцієнти адсорбції негативних та позитивних аероіонів на важкі;

N^- , N^+ – концентрації важких негативних та позитивних аероіонів, см^{-3} ;

β_0^- , β_0^+ – коефіцієнти адсорбції негативних та позитивних аероіонів на нейтральні частинки;

N – концентрація нейтральних частинок, см^{-3} .

Усі необхідні коефіцієнти або відомі з довідкових джерел, або можуть бути визначені експериментально.

Якщо у приміщеннях наявні поверхні, що несуть статичні заряди (наелектризовані підлогові покриття, полімерні оздоблювальні матеріали, незаземлене обладнання тощо) це треба враховувати при визначенні концентрацій легких аероіонів.

Необхідні складові вищенаведених рівнянь визначаються з фундаментальних співвідношень електростатики. У цьому випадку до першого рівняння додається:

$$-\frac{\mu^- E n^-}{r^2} + \frac{\mu^- E n_{r+1}^-}{(r+1)^2},$$

а до другого рівняння додається:

$$-\frac{\mu^+ E n^+}{r^2} + \frac{\mu^+ E n_{r+1}^+}{(r+1)^2},$$

де μ^+ , μ^- – рухливості негативних та позитивних легких аероіонів, $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$;

E – напруженість електростатичного поля на відстані 1 см від його джерела, В/см;

r – відстань від джерела електростатичного поля до досліджуваної поверхні, см;

n_{r+1}^+ , n_{r+1}^- – концентрації позитивних та негативних аероіонів у 1 см³ об'єму, суміжного з досліджувальними з боку джерела електростатичного поля.

Метод розрахунку обирається у залежності від умов, які присутні або прогножуються у приміщенні чи будівлі. Спрощені розрахунки прийнятні для застосування фахівцями з охорони праці підприємств різного профілю.

4.2. Нормалізація концентрацій аероіонів у комплексі заходів з нормалізації фізичних факторів виробничого середовища.

Сучасні виробничі приміщення характеризуються наявністю впливу на працюючих комплексу фізичних факторів. Особливо це стосується будівель і приміщень з великою насиченістю електричним та електронним обладнанням. Зокрема, вимоги з електромагнітної безпеки при експлуатації засобі обчислювальної техніки надзвичайно жорсткі. Тому у багатьох випадках застосовують захисні конструкції у вигляді екранів. Зокрема у медичних установах спостерігається наявність м'якого рентгенівського випромінювання діагностичного обладнання різного призначення, яке має іонізуючу дію. Поряд з цим, під впливом випромінювання відбувається електризація поверхонь, що негативно впливає як на стан повітря, так і працездатність (стабільність роботи) технічних засобів. Для екранування поверхонь таких приміщень було розроблено спеціальний захисний матеріал, який не електризується під впливом електромагнітних випромінювань різних ступенів жорсткості та трибоелектричного ефекту [96].

Для створення зразків використовувалися рідкий латекс і залізорудний концентрат, який мав у своєму складі 60–68% заліза та залізорудних частинок з середнім розміром 22–23 мкм. Концентрат був виготовлений на Полтавському

гірничозбагачувальному комбінаті. Сухий залізорудний концентрат додавався до латексу у кількості 60 % від загальної ваги. Суміш спочатку перемішувалася механічно протягом 15 хвилин, а потім оброблялася ультразвуком частотою 23 кГц і амплітудою 40-45 мкм протягом 10 хвилин. Отримана суміш наливалася на пласкі поверхні шарами різної товщини. Після полімеризації зразки були готові до використання. Розміри зразків склали 0,2×0,2 метра (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Залізовмісний матеріал для екранування рентгенівського випромінювання

Для визначення ефективності захисту зразків матеріалу використовувався метод прямих вимірювань СРП-68-01. Було виміряно рівень рентгенівського випромінювання джерела до і після захисного екрана. Для проведення вимірювань використовувався медичний рентгенівський апарат «Neo-Diagnostax» з робочими напругами на рентгенівській трубці від 40 до 125 кВ [97].

У процесі досліджень були визначені захисні властивості металополімерних композицій без ультразвукової обробки рідкої вихідної суміші та обробленої ультразвуком, як показано на рис. 4.2.

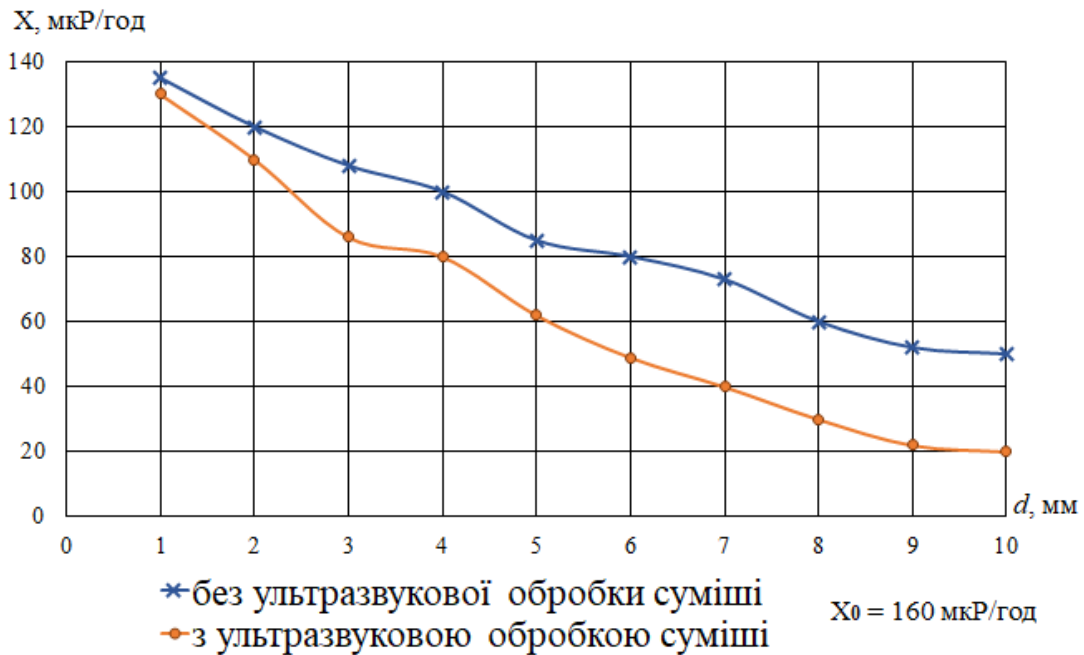


Рис. 4. 2. Зниження інтенсивності рентгенівського випромінювання металополімерним матеріалом на основі залізовмісного порошку

Згідно з графіком, ультразвукове перемішування металополімерної суміші суттєво покращує захисні властивості матеріалу. Це можна пояснити збільшенням дисперсності наповнювача, рівномірним та щільним розташуванням металевих частинок у матриці, що збільшує ймовірність взаємодії рентгенівського випромінювання з матеріалом. Однак коефіцієнти екранування матеріалів є відносно невеликими – 7–8, хоча для більшості умов використання рентгенівського обладнання це є достатнім. Ця ефективність може бути обґрунтована тим, що під час експериментів використовувалося рентгенівське випромінювання з енергією приблизно 50 кеВ, що, згідно [98] відповідає найнижчій ефективності заліза порівняно зі свинцем. Рекомендується розрахувати розподіл ефективності залізовмісних композицій, який залежить від масового коефіцієнта ослаблення.

$$\mu_M = \mu/\rho,$$

де μ – лінійний коефіцієнт ослаблення матеріалу;

ρ – густина матеріалу.

Коефіцієнт послаблення залежить від енергії рентгенівського випромінювання (рис. 4.3).

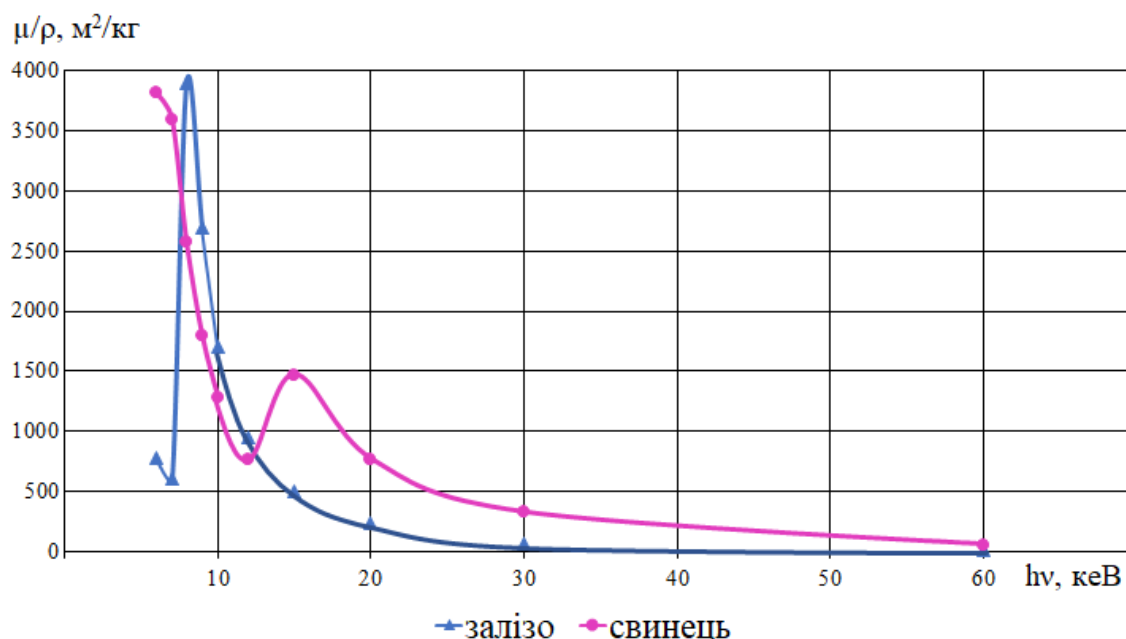


Рис. 4. 3. Залежність захисних властивостей матеріалів від енергії рентгенівського випромінювання

Аналіз результатів свідчить, що для енергій 8–12 кеВ залізовмісний матеріал має кращі функціональні показники, ніж матеріал на основі свинцю [99–100].

Аналіз результатів показує, що залізовмісний матеріал (рис. 4.3) має кращі функціональні характеристики, ніж матеріал на основі свинцю, для енергій від 8 до 12 кеВ. Для більшості медико-діагностичних застосувань різниця в енергіях, показаних на рис. 4.3, є незначною. Загалом, енергія рентгенівського випромінювання залежить від напруги в лампі та матеріалу, з якого виготовлений анод трубки. За певних умов можна вирішити питання про достатність захисних властивостей залізовмісного композиту, що значно спростить процедури застосування рентгенівської техніки. Для малих енергій випромінювання переважаючим механізмом розсіювання рентгенівських квантів є фотоэффект. Масовий коефіцієнт ослаблення τ/ρ однозначно визначається як:

$$\frac{\tau}{\rho} = \frac{Z^4}{(h\nu)^2}$$

де Z – порядковий номер елемента, який забезпечує захист;

ρ – його густина;

h – стала Планка ($6,62 \times 10^{-34}$ Дж·с);

ν – частота рентгенівського кванта.

У цьому співвідношенні Z вказує на порядковий номер металу у періодичній таблиці, який забезпечує захист, але ρ матеріалу відрізняється від густини металу. Наприклад, у даному випадку (рис.1) кількість залізовмісної субстанції становить 60%, що означає, що маса металу у 1,5 рази більша за масу полімеру ($m_M = 1,5 m_P$). Це треба враховувати при оціночному розрахунку захисних властивостей композицій.

Якщо $m_M = km_P$, а $\rho = \frac{m}{V}$, то ρ суміші визначається як:

$$\rho = \frac{\rho_M \cdot \rho_P \cdot (k + 1)}{k\rho_P + \rho_M}$$

де ρ_M та ρ_P – густина металу й полімеру, застосованих для виготовлення композитного рентгенозахисного матеріалу.

Цей підхід є вірним не лише для застосування першого співвідношення, але й для визначення внеску інших механізмів розсіювання іонізуючого випромінювання, таких як утворення електрон-позитронних пар і ефект Комптона.

Крім технологічності застосування (мала товщина, еластичність) перевагою такого матеріалу є те, що він повністю екранує техногенні електромагнітні поля широкого частотного діапазону. Ця перевага є критичною з наступних міркувань. На сьогодні у визначенні безпечності умов праці застосовується ризик орієнтований підхід. Але з усього комплексу фізичних факторів визначення ризиків опрацьовано тільки щодо мікрокліматичних та акустичних впливів на працюючих, а також іонізуючих випромінювань. Щодо впливу електромагнітних полів широкого частотного діапазону та концентрації аероіонів у повітрі існує невизначеність. Медико-гігієнічні дослідження щодо

електромагнітних впливів суперечливі, тому для цього фізичного фактора застосовується принцип ALARA [101]. Щодо концентрації аероіонів, то існують дослідження тільки для умов повної деіонізації повітря, що не дозволяє розрахувати ризик від ненормативних значень цих фізичних чинників. Таким чином, для визначення умов праці з точки зору ризик орієнтованого підходу, принаймці, ці два фізичні фактора повинні бути повністю нормалізовані. Дослідження щодо електризації матеріалу наслідок трибоелектричного ефекту свідчить, що напруженості електростатичного поля не перевищували 0,10–0,15 кВт/м.

4.3. Розроблення та тестування біполярного ультразвукового іонізатора повітря.

З метою нормалізації та керування концентраціями аероіонів у приміщеннях різного призначення було розроблено ультразвуковий пристрій іонізації повітря з керованою переважністю полярності, який не продукує побічних несприятливих речовин.

Дані, наведені у табл. 3.1 та 3.2, отримані на відстані 1 м від зволожувача повітря. На більших відстанях концентрації іонів швидко зменшуються через природні процеси (наприклад, рекомбінація іонів). За відсутності достатньої кількості іонів не відбувається нейтралізація поверхневих електростатичних зарядів. Подолання цих вад можливе примусовим розповсюдженням іонів струменем повітря. Крім того, генерація іонів стандартним пристроєм не регулюється. Потрібно забезпечити керування полярностей іонів у залежності від параметрів чинників деіонізації повітря у приміщенні, знаків електростатичних зарядів на полімерних поверхнях, показників зовнішнього повітря.

Виходячи з цього, головні вимоги до іонізатора повітря повинні бути такими:

– достатня продуктивність щодо генерування іонів обох знаків принаймні для нормалізації і підтримання на нормативному рівні їх концентрацій та нейтралізації поверхневих електростатичних зарядів;

– регульованість генерації іонів кожного знаку у залежності від знаку статичних поверхневих зарядів та фактичного коефіцієнта полярності іонізації повітря у даному приміщені;

– відсутність побічних ефектів щодо генерації потенційно небезпечних речовин (озону, оксидів нітрогену тощо).

Таким вимогам відповідає іонізатор з використанням у якості робочого вузла ультразвукового випромінювача, який іонізує молекули води за рахунок балоелектричного ефекту. Генерація іонів завжди парна, а відмінність концентрацій обумовлена тільки геофізичним фактором та поглинанням іонів одного знаку поверхнями або предметами, зарядженими протилежно. Для отримання необхідного результату достатньо великої генерації іонів обох знаків і часткове поглинання іонів одного знаку спеціальним вузлом пристрою.

Принципова схема біполярного іонізатора повітря наведена на рис. 4.4 [102].

Іонізатор працює наступним чином. Від ультразвукового генератора 1 електричні сигнали ультразвукової частоти подаються на випромінювач 2. З ємності 3 трубкою 4 на випромінювач подається вода, яка під впливом ультразвукових коливань іонізується. Вентилятором 5 іонізоване повітря задувається між обкладинками повітряного конденсатора 6. Ключ 7 вмикає на обкладинках конденсатора напругу потрібного знаку від джерела 8. Іони протилежного знаку осідають на обкладинках конденсатора а їх кількість регулюється реостатом 9.

Розрахувати необхідні параметри пристрою можна наступним чином. Для усіх аспіраційних систем визначення концентрацій іонів використовується співвідношення:

$$K = \frac{V_1}{4\rho CU},$$

де K – рухомість іонів, $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$;

V_1 – об'єм повітря, яке проходить крізь конденсатор за одиницю часу, $\text{см}^3/\text{с}$;

C – ємність конденсатора, см ;

U – напруга на обкладинці конденсатора, В .

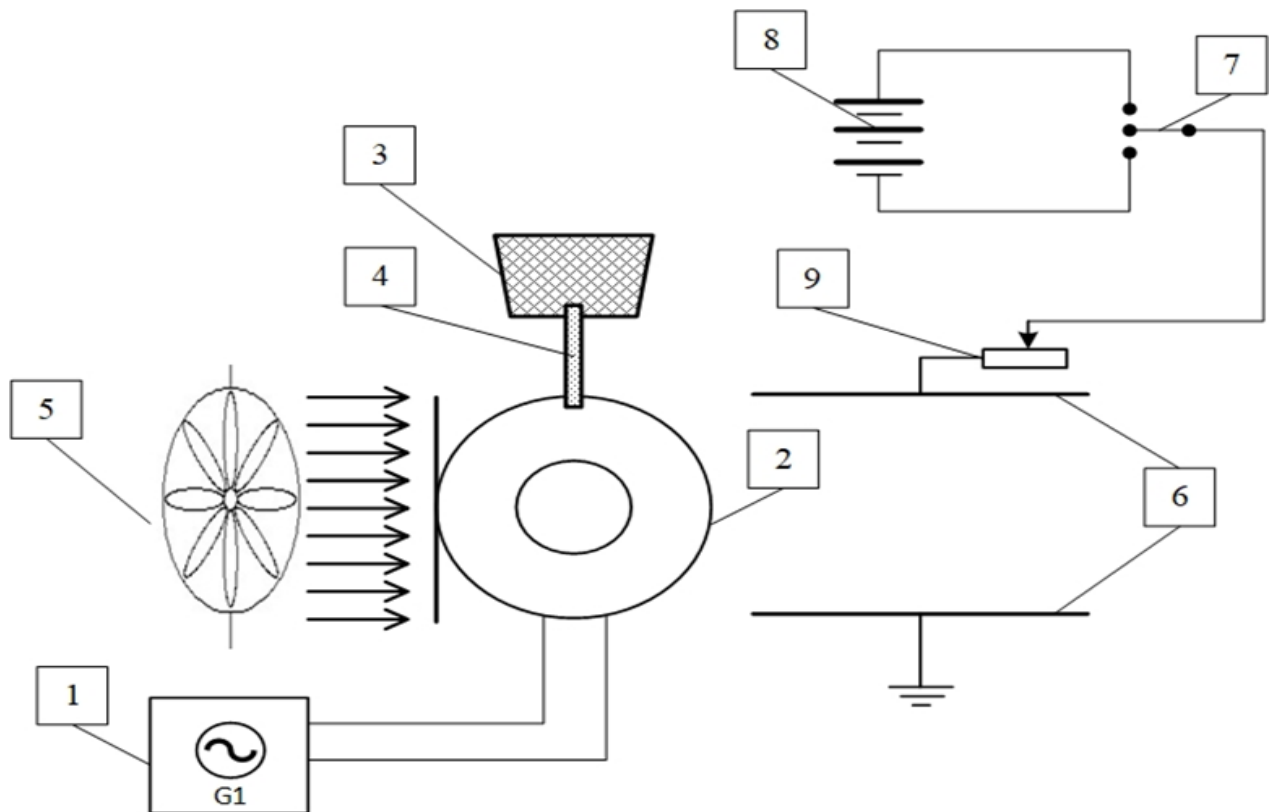


Рис. 4.4. Схема біполярного ультразвукового генератора повітря:
1 – ультразвуковий генератор, 2 – ультразвуковий випромінювач,
3 – ємність з водою, 4 – трубка для подачі води, 5 – вентилятор,
6 – обкладинки конденсатора, 7 – ключ перемикання полярності конденсатора,
8 – джерело постійної напруги, 9 – реостат

Усіма нормативами легким вважаються іони рухомостями $K \geq 0,4 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Тобто, можна визначити параметри конденсатора, вентилятора та напруги елемента живлення за відомої рухомості іонів.

За регулювання напруги опором 9 концентрація іонів, які осідають на конденсаторі за 1 с, визначається із співвідношення:

$$U = IR = Rn'eV_1,$$

де I – електричний струм у колі, А;

R – опір у даний момент часу, Ом;

n' – концентрація іонів, які осідають за 1 с, $\text{см}^{-3}\text{с}^{-1}$;

e – одиничний заряд іона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл).

Тому, за відомої продуктивності іонізатора у пристрої поглинається необхідна частина іонів потрібного знаку для підтримання у приміщенні концентрацій іонів на нормативних рівнях і полярностях.

Лабораторні дослідження макету біполярного іонізатора довели, що для регулювання іонного складу повітря та нейтралізації статичних зарядів у приміщенні площею до 50 м^2 достатньо генератора потужністю 25 Вт з амплітудою коливань 18–20 мкм на частотах 23–25 кГц. Повітряний конденсатор може бути як пласкої, так і циліндричної форми. Напруга батареї 12 В є достатньою.

Регульованість концентрацій іонів даним пристроєм коливається від фонового до 4000–5000 см^{-3} іонів кожного знаку по усій площі тестового приміщення. Порівняльний аналіз розповсюдження іонів обох полярностей від розробленого біполярного іонізатора повітря та зволожувача повітря наведено на рис. 4.5. Вимірювання здійснювалося після двох годин роботи пристрою.

Зниження концентрацій іонів з відстанню від іонізатора відбувається практично лінійно і залежить від обертів вентилятора та кількості води, що подається на випромінювач.

Усі серійні іонізатори повітря генерують іони високовольтними коронними розрядами і є різновидами загальновідомої люстри Чижевського. Такі іонізатори не передбачають примусове поширення іонів регульованої полярності і мають принциповий недолік – генерацію в результаті розрядів озону та оксидів нітрогену, шкідливих для людей. Цих недоліків позбавлений ультразвуковий іонізатор. Для малих площ і об'ємів достатньо використовувати ультразвуковий зволожувач повітря, що показано у розділі 3.

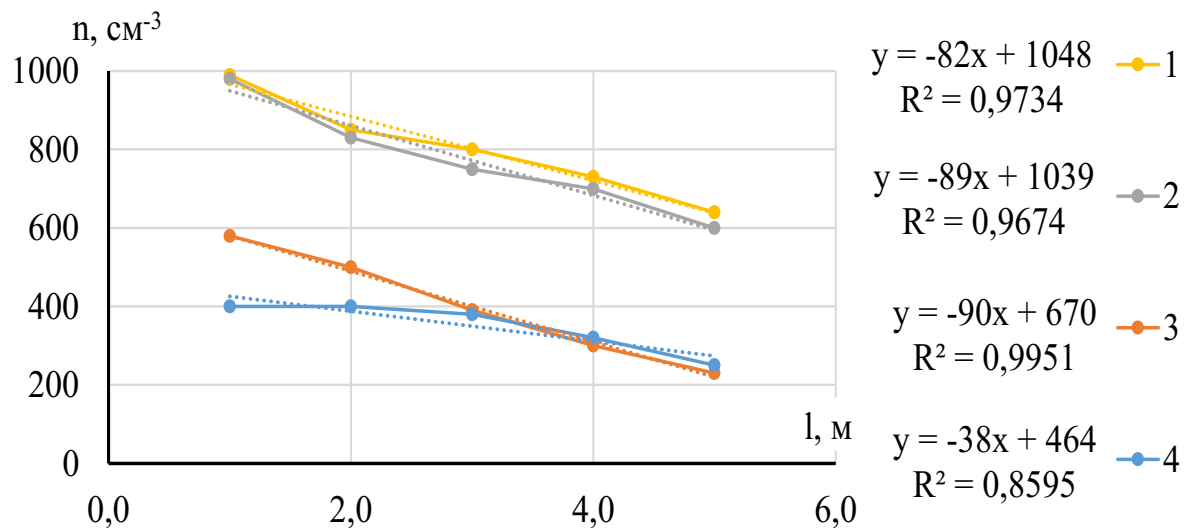


Рис. 4.5. Поширення іонів від джерела іонізації повітря:

- 1 – зміна концентрацій негативних іонів з відстанню від іонізатора повітря,
- 2 – зміна концентрацій позитивних іонів від іонізатора повітря,
- 3 – зміна концентрацій негативних іонів від зволожувача повітря,
- 4 – зміна концентрацій позитивних іонів від зволожувача повітря

Відомо, що вологість повітря і концентрації аероіонів певним чином пов'язані між собою [82]. Але наведені дані суперечливі. Оскільки ультразвуковий зволожувач і іонізатор генерують іони за принципом балоелектричного ефекту подрібнення води, то в обох випадках підвищується відносна вологість повітря у приміщенні. Практично в усіх виробничих і навчальних умовах існують нормативні межі відноснової вологості повітря (40–60 %). Тому було досліджено зміну вологості повітря з відстанню від біполярного іонізатора (табл. 4.1), унаочнення даних відображено на рис. 4.6.

Вимірювання здійснювалося у приміщенні площею 20 м² за різних вихідних відносних вологостей повітря. Відносна вологість встановлювалася за рахунок розпилення води серійним розпилювачем. Як видно з отриманих даних за нормативних вихідних вологостей повітря, навіть за працюючого іонізатора, вологість на рівні 40–60 % встановлюється на відстані 1,5–2,0 метри. При цьому зона обслуговування іонізатора з нормативними відносними вологостями складає не менше 5 метрів.

Динаміка зміни відносної вологості повітря з відстанню
при застосуванні біполярного іонізатора

Відстань, м	Відносна вологість повітря, %		
	55–56	45–46	35–36
0,5	100	100	100
1,0	95	90	80
1,5	86	80	60
2,0	80	60	55
2,5	75	55	50
3,0	70	52	45
3,5	66	50	42
4,0	64	49	42
4,5	62	48	40
5,0	60	48	40

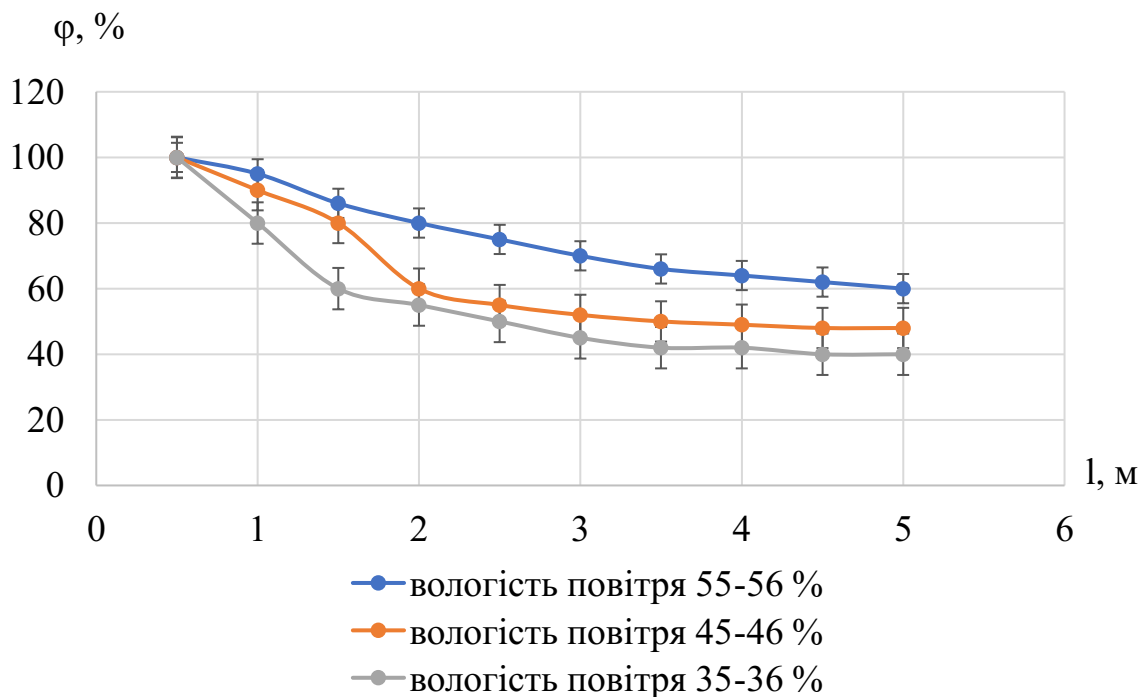


Рис. 4.6. Динаміка відносної вологості повітря у приміщенні при застосуванні
ультразвукового іонізатора повітря

Можна помітити, що зміна відносної вологості за вихідних значень 45 % відрізняється від двох інших залежностей і до відстані 1,5 м наближається до кривої з більш високою вологістю. Скоріше за все, це можна пояснити взаємодією кластерів молекул води, за вологості більше 45 %, поблизу джерела дрібнодисперсної води.

Експлуатаційним недоліком усіх існуючих іонізаторів повітря, які виробляються серійно є швидкий вихід з ладу через забруднення робочих поверхонь відкладеннями солей з води. Було досліджено залежність генерації аероіонів ультразвуковим іонізатором від складу води. Досліджувалися дистильована, водопровідна та мінералізована підсолена вода (табл. 4.2, рис. 4.7–4.9).

Таблиця 4.2

Динаміка концентрацій аероіонів у залежності від хімічного складу води, яка використовується в ультразвуковому іонізаторі

L, м	Дистильована вода		Водопровідна вода		Мінералізована вода	
	n ⁻ , см ⁻³	n ⁺ , см ⁻³	n ⁻ , см ⁻³	n ⁺ , см ⁻³	n ⁻ , см ⁻³	n ⁺ , см ⁻³
0,5	1200	1300	940	1100	820	870
1,0	1100	1220	850	980	760	790
1,5	890	940	720	830	620	640
2,0	820	870	680	710	530	440

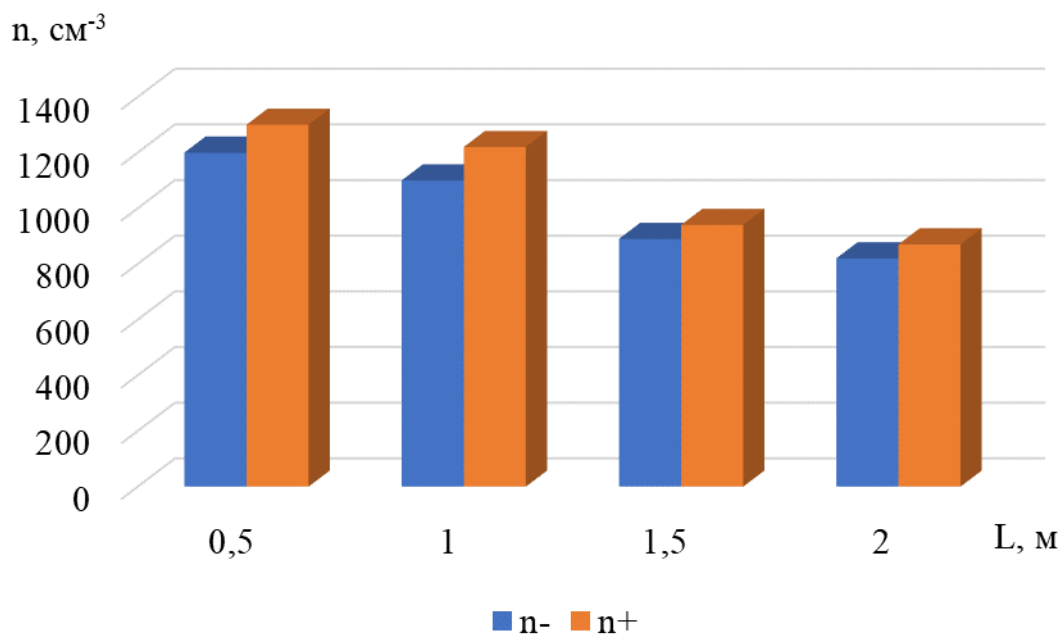


Рис. 4.7. Концентрація аероіонів при використанні дистильованої води для ультразвукового іонізатора

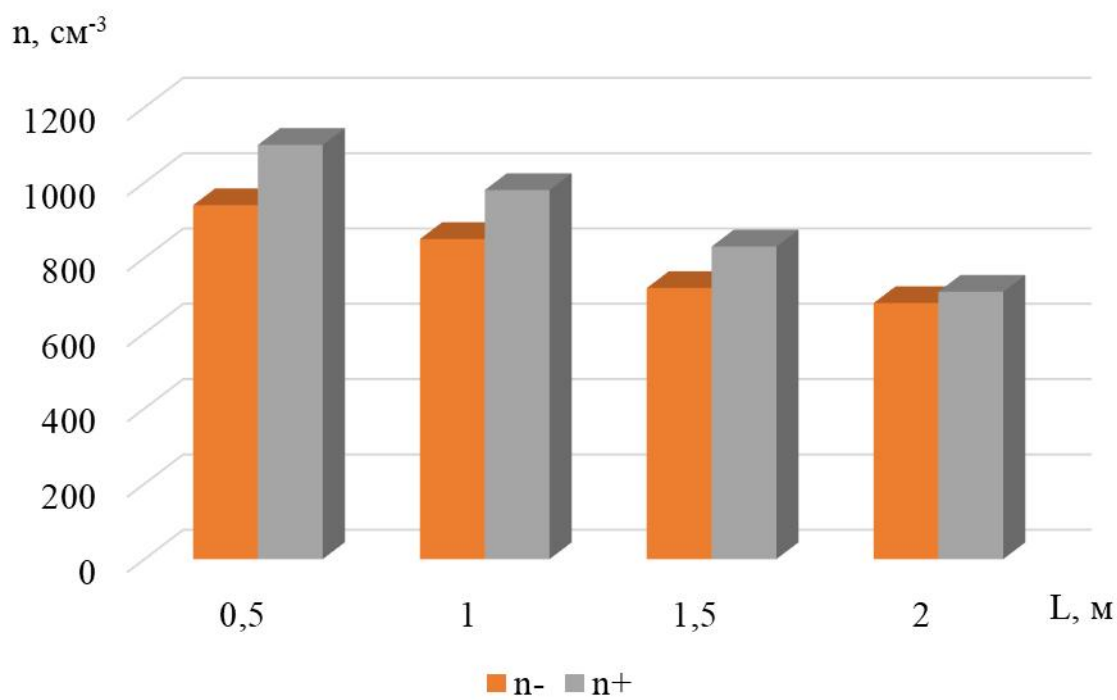


Рис. 4.8. Концентрація аероіонів при використанні водопровідної води для ультразвукового іонізатора

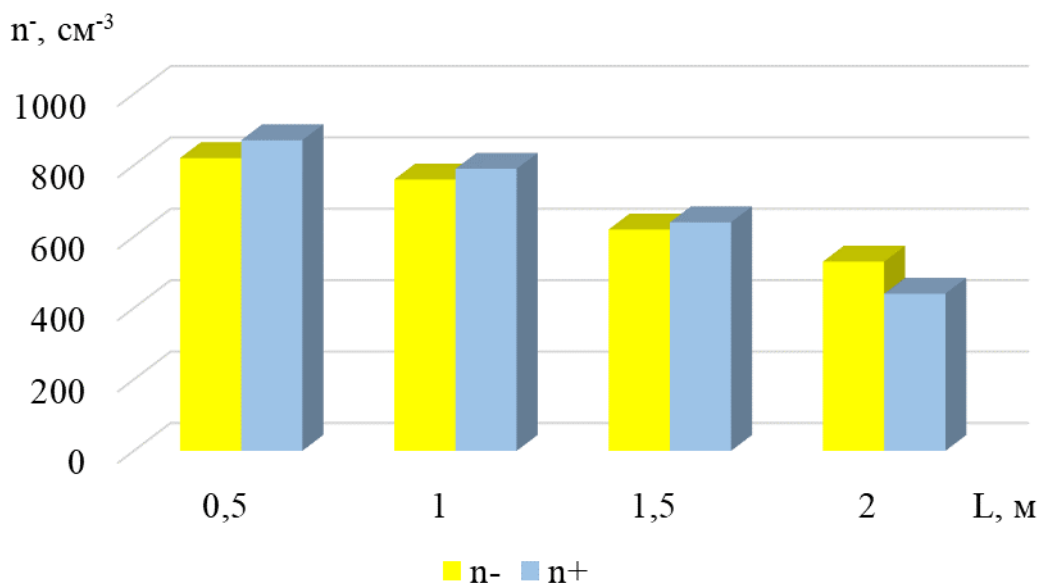


Рис. 4.9. Концентрація аероіонів при використанні мінералізованої води для ультразвукового іонізатора

Як видно з наведених даних (табл. 4.2 та рис. 4.7–4.9) найбільш ефективна іонізація повітря відбувається за використання дистильованої води. Цей факт потребує прийняттого тлумачення. Відомо, що у усі солі перебувають у воді в дисоційованому вигляді, утворюючи аніони й катіони. В той же час, молекули води полярні і вони утворюють кластери, приєднуючись до іонів солі з протилежним зарядом. Це ускладнює процеси реалізації балоелектричного ефекту при потраплянні води на мембрану ультразвукового випромінювача. Цей процес подібний до утворення важких аероіонів та осідання іонів на дрібнодисперсний пил та аерозолі. При постійній роботі ультразвукового іонізатора витрати води суттєві, тому, щоб не користуватися дистильованою водою, компромісним варіантом є застосування кип'яченої води.

4.4. Впровадження результатів досліджень та їх ефективність

Результати досліджень впроваджено на ДП «Антонов». На підприємстві було проведено вимірювання якості повітря у приміщеннях, де проводиться конструкторська розробка та адміністративна діяльність. Було встановлено, що концентрації аероіонів у цих приміщеннях були нижчими за нормативні значення. Так, для позитивних іонів вони становили $420\text{--}240\text{ см}^{-3}$, а для негативних – $280\text{--}200\text{ см}^{-3}$ при температурі $19\text{--}22\text{ }^{\circ}\text{C}$ та відносній вологості повітря $35\text{--}45\%$. Напруженість полів електростатичних зарядів біля підлогових покриттів становила $0,7\text{--}5,6\text{ В/м}$, а на поверхнях меблів – $0,4\text{--}5,2\text{ В/м}$. При температурі $22\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ та відносній вологості повітря $25\text{--}45\%$, концентрації аероіонів складали позитивних $500\text{--}460\text{ см}^{-3}$, негативних $470\text{--}340\text{ см}^{-3}$. Ці дані не відповідали санітарним нормам.

Для нормалізації концентрації аероіонів було використано ультразвуковий іонізатор-зволожувач повітря. У результаті його застосування концентрації позитивних аероіонів зросли до $560\text{--}660\text{ см}^{-3}$, негативних – $620\text{--}680\text{ см}^{-3}$. При цьому було частково знижено напруженості електростатичних полів до $0,6\text{--}0,8\text{ В/м}$. Встановлено, що одного іонізатора-зволожувача повітря потужністю 25 Вт достатньо для обслуговування площі виробничого приміщення 30 м^2 з висотою стелі $3,5\text{ м}$. Для гарантованого зниження електризації полімерних поверхонь рекомендовано на початку робочого дня проводити вологу обробку усіх полімерних поверхонь.

Додатково було проведено вимірювання рівнів електромагнітних полів на комп'ютеризованих робочих місцях. Виявлено, що джерела безперебійного живлення і системні блоки серверів створюють магнітні поля, які перевищують гранично-допустимі рівні, визначені чинними санітарними нормами ($350\text{--}650\text{ нТл}$) за магнітною складовою. Для зменшення цих полів було рекомендовано заекранувати ці технічні пристрої листовим металополімерним матеріалом. Після проведення контрольних вимірювань було встановлено, що магнітне поле знизилося до рівнів, які відповідають нормативам (200 нТл) у всіх випадках. При

проведенні досліджень були враховані вимоги міжнародних стандартів ТСО'05 та SBM-2015.

Результати досліджень використані при впровадженні заходів з нормалізації та підтримання на нормативному рівні концентрацій аероіонів обох полярностей у повітрі приміщень Авіаційного медичного центру Національного авіаційного університету. Попередні вимірювання концентрацій аероіонів здійснювалися у приміщеннях з експлуатації діагностичного обладнання та на робочих місцях персоналу. Встановлено, що протягом робочого дня у більшості приміщень концентрації аероіонів знижувалися з нормативних значень $500\text{--}600\text{ см}^{-3}$ до $250\text{--}280\text{ см}^{-3}$. При цьому напруженості електричних полів підвищувалися з нормативних $0,3\text{--}0,4\text{ В/м}$ до $4,6\text{--}4,8\text{ В/м}$. Встановлено, що факторами деіонізації є трибоелектричний ефект та робота обладнання. Наднормативні рівні досягалися протягом $1,5\text{--}2,0$ години робочого часу. Встановлено, що за нормативної температури $20\text{--}23\text{ }^{\circ}\text{C}$ відносна вологість повітря перебувала на межі нормативних значень $38\text{--}40\%$. У результаті застосування штучної іонізації повітря концентрації позитивних іонів зросли до $720\text{--}790\text{ см}^{-3}$, негативних – $650\text{--}680\text{ см}^{-3}$. При цьому значення відносної вологості повітря підвищилися до $45\text{--}55\%$. Отримані результати відповідають як національному нормативу з гігієнічної регламентації умов праці [1], так і міжнародному нормативу [2].

Результати виконаної науково-дослідної роботи використовуються у навчальному процесі Національного авіаційного університету на кафедрі цивільної та промислової безпеки у вигляді методичної розробки «Методика контролю та нормалізації концентрацій аероіонів у повітрі виробничого середовища» з дисципліни «Основи охорони праці». Ця методична розробка використовується під час викладання навчальної дисципліни «Основи охорони праці» для здобувачів вищої освіти ОС «Бакалавр» спеціальності 263 «Цивільна безпека». Методична розробка сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти навичок застосування сучасних методик оцінки та прогнозування аероіонного режиму у приміщеннях та є інструментом підвищення рівня підготовки фахівців з цивільної безпеки.

Висновки до розділу 4

1. Для нормалізації аероіонного складу повітря, особливо на стадіях проектування розміщення обладнання на виробничих площах, модернізації обладнання та проведення реконструкцій доцільне попереднє оцінювання аероіонних режимів приміщень розрахунковим методом. Розроблена цілісна система функцій та співвідношень дозволяє попередньо прогнозувати концентрації аероіонів у залежності від наявності тих чи інших чинників впливу на концентрації аероіонів – фонових значень концентрацій, режимів вентиляції, температурного і вологісного режиму, наявності електричних полів тощо.

2. Впровадження заходів і засобів нормалізації концентрацій аероіонів повинно здійснюватися у комплексі заходів з нормалізації фізичних факторів виробничого середовища. Особливо це стосується стаціонарних та змінних електромагнітних полів, іонізуючих випромінювань. Більшість композиційних матеріалів для захисту від іонізуючих та неіонізуючих випромінювань електризуються під впливом трибоелектричного ефекту та внаслідок впливу випромінювань. Розроблений захисний матеріал на основі латексу та залізовмісного порошку дозволяє уникнути такого ефекту.

3. Розроблений біполярний ультразвуковий іонізатор повітря позбавлений принципових вад стандартних іонізаторів повітря – генерації озону, сполук нітрогену та малої площі обслуговування. За генерації іонів знаків у 1000 см^{-3} відбувається монотонне зниження концентрацій до 600 см^{-3} на відстані 5 метрів. Це відповідає національному та міжнародному нормативам із якості повітря за аероіонним складом.

4. Впровадження організаційно-технічних заходів з нормалізації аероіонного режиму приміщень на підприємстві довело їх високу ефективність та доцільність впровадження у працезохоронну практику.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, у якій вирішено актуальну науково-прикладну задачу наукового обґрунтування та розроблення засобів та заходів контролю та нормалізації аероіонного складу повітря виробничих та навчальних приміщень.

Основними науковими та прикладними результатами досліджень є:

1. На основі аналізу результатів досліджень та прикладних розробок встановлено, що на сьогодні відсутні дані щодо впливу сучасних технічних засобів, допоміжного обладнання, оздоблювальних матеріалів на концентрації аероіонів обох полярностей у повітрі виробничих середовищ. Відсутні дослідження щодо проектування пристроїв штучної іонізації повітря, які не мають побічних негативних ефектів і достатньо ефективні для обслуговування приміщень великих площ.

2. Удосконалена методика вимірювання та оброблення результатів контролю аероіонного складу повітря лічильниками аспіраційного принципу дії дозволила обґрунтовано застосувати два різних лічильники для уникнення отримання хибних даних через пилове забруднення вимірювального конденсатора та з огляду на великі паспортні похибки усіх лічильників аероіонів (до 40 %).

3. Встановлено, що ультразвукові зволожувачі повітря крім підвищення відносної вологості повітря додатково іонізують його. У середньому за підвищення відносної вологості на 7–8 % концентрації позитивних аероіонів зростають на 150–160 см⁻³, негативних – на 300–310 см⁻³. При цьому на навколишніх полімерних поверхнях напруженість електричного поля знижується з 5,1–5,0 до 0,20–0,25 кВ/м. Радіус впливу зволожувача становить 1,0–1,5 м. Це дозволяє застосовувати його на окремих робочих місцях.

4. Встановлено найбільш критичні чинники деіонізації повітря у приміщеннях. Системи охолодження повітря (split-системи) деіонізують повітря від 1–2 % до 25 % (негативні) та 40–85 % (позитивні). Ступені деіонізації

залежать від марки та технічного стану пристрою. У більшості випадків зниження концентрації аероіонів обох знаків становить 20–70 % за зниження температури на 4 °С та відносної вологості повітря на 6 %. При підвищенні напруженості електростатичного поля з 0,2 до 5,0 кВ/м концентрації іонів знижуються на 40–60 %. Лазерні принтери підвищують концентрації аероіонів на 30–40 % (радіус впливу 1,0–1,5 м). Один системний блок персонального комп'ютера деіонізує повітря у нормативному об'ємі 20 м³ на 100–200 см⁻³. Головним чинником деіонізації повітря при експлуатації переносних комп'ютерів є електростатичні поля (радіус впливу 0,5–0,6 м).

5. Прямого впливу на концентрації аероіонів за присутності користувача персонального комп'ютера на робочому місці не встановлено. Зміни концентрації аероіонів обумовлені електризацією поверхонь меблів й осідання на них аероіонів протилежної полярності. На робочих місцях користувачів стаціонарних і переносних комп'ютерів спостерігається стійка тенденція деіонізації повітря, обумовлена комплексом факторів. У середньому упродовж кількох годин концентрації аероіонів обох знаків знижуються з 900–1000 см⁻³ до 300–400 см⁻³. Головним фактором впливу є електризація поверхонь внаслідок трибоелектричного ефекту та наявності дрібнодисперсного пилу в повітрі. При однакових відстанях від підлоги концентрації аероіонів над паркетом на 200–300 см⁻³ вищі за концентрації над ковроліном.

6. У навчальних приміщеннях головним фактором деіонізації повітря є дрібнодисперсний пил, що потрапляє у повітря від періодичного пересування людей. Це підтверджується тим, що в одній аудиторії щоденне вологе прибирання гарантовано підтримує концентрації аероіонів кожного знаку на 200–300 см⁻³ більші, ніж за відсутності прибирання. Впровадження заходів і засобів нормалізації аероіонного складу повітря у виробничих та навчальних приміщеннях повинно здійснюватися у комплексі заходів з нормалізацією інших фізичних чинників середовища. Головними з них є електромагнітні поля та випромінювання. Захисні електромагнітні екрани повинні бути електрично

нейтральні, тобто не електризуються внаслідок трибоелектричного ефекту та під впливом випромінювань.

7. Розроблений біполярний ультразвуковий іонізатор повітря не генерує потенційно небезпечних сполук і гарантовано забезпечує нормативні концентрації аероіонів на відстанях до 5 метрів. При генерації іонів 1000 см^{-3} на відстані 5 м концентрації становлять біля 600 см^{-3} без урахування фонових значень. За фонових відносних вологостей у приміщенні 35–55 % на відстанях від іонізатора до 5 м забезпечується нормативне значення відносної вологості 40–60 %.

9. Впровадження розроблених заходів і засобів нормалізації аероіонного складу повітря на ДП «Антонов», у Авіаційному медичному центрі та у навчальному процесі Національного авіаційного університету довели їх ефективність і доцільність широкого застосування у працезохоронній практиці на підприємствах різного профілю та навчальних закладах.

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 № 248. [Чинний від 2014-05-30] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text> (дата звернення: 20.05.2023).

2. Standard of Building Biology Testing Methods. SBM-2015/ Building biology evaluation guidelines for sleeping areas. Baubiologie Maes. Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN. GUIDELINES. 4 p. URL: <https://buildingbiology.com/building-biology-standard/> (дата звернення: 20.05.2023).

3. Xiao, Sha & Wei, Tianjing & Petersen, Jindong & Zhou, Jing & Lu, Xiaobo. (2023). Biological Effects of Negative Air Ions on Human Health and Integrated Multi-omics to Identify Biomarkers: A literature review. DOI:[10.21203/rs.3.rs-2444754/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2444754/v1).

4. Effects of Air-Ions on Human Circulatory Indicators. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 23(2). 2014. PP. 521–531.

5. Jiang SY, Ma A, Ramachandran S. Negative Air Ions and Their Effects on Human Health and Air Quality Improvement. Int J Mol Sci. 2018 Sep 28;19(10):2966. DOI: [10.3390/ijms19102966](https://doi.org/10.3390/ijms19102966).

6. Peter Wallner, Michael Kundi, Michael Panny, Peter Tappler, Hans-Peter Hutter. Exposure to Air Ions in Indoor Environments: Experimental Study with Healthy Adults. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2015 (November). Vol. 12 (11). P. 14301–14311. DOI: [10.3390/ijerph121114301](https://doi.org/10.3390/ijerph121114301)

7. Чижевский А. Л. Аэрификация в народном хозяйстве. 2-е изд., сокр. М.: Стройиздат, 1989. 488 с.

8. Петровський О. М., Соловйова Н. В. Застосування «іонного вітру» для санації медичних приміщень. *Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української медичної стоматологічної академії*. 2017. № 4–2 (60). URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/zastosuvannya-ionnogo-vitru-dlya-sanatsiyi-medichnih-primischen> (дата звернення: 10.04.2023).

9. Думанский Ю. Д. Умеренно повышенные концентрации легких аэроионов и их гигиеническое значение: автореф. дисс. на соискание степени канд. мед. наук / Ю. Д. Думанский. Киев, 1963. 23 с.

10. Krueger A. P. The Biological Mechanisms of Air Ion Action. I. 5-Hydroxytryptamine as the endogenous mediator of positive air ion effects on the mammalian trachea. *The Journal of General Physiology*. 1960. Vol. 43. P. 533–540.

11. Krueger A. P. The Biological Mechanisms of Air Ion Action. II. Negative air ion effects on the concentration and metabolism of 5-hydroxytryptamine in the mammalian respiratory tract. *The Journal of General Physiology*. 1960. Vol. 44. P. 269–276.

12. Albert P. Krueger, Richard F. Smith. Parameters of gaseous ion effects on the mammalian trachea. *The Journal of General Physiology*. 1959. Vol. 42, No. 5. P. 959–969.

13. Шандала М. Г. Аэроионизация как неблагоприятный фактор внешней среды. К.: Здоровье, 1974. 164 с.

14. Назаренко В. І., Терещенко П. С., Палійчук С. П. і ін. Фізіолого-гігієнічна оцінка мікроклімату сучасних офісних приміщень та адаптаційні реакції організму офісних працівників. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2014. № 2. С. 41–47.

15. Сукач С. В., Сидоров О. В. Методологічні засади підвищення якості контролю аероіонного складу повітря виробничого середовища. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2016. № 32. С. 127–133.

16. Sydorov O. V. Technique of small air ions concentration measurements on workplace of computer operator. *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*. 2014. № 1. С. 36–41.

17. Сидоров О. В. Вплив оператора ЕОМ на іонний склад повітря. *Авіа-2013. Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2013»*. Т. 5. Київ, 2013. С. 32.65–32.68.

18. Сидоров О.В. Дослідження впливу користувачів персональних комп'ютерів на концентрації легких аерофонів. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2013. Вип. 26. С. 97–109.

19. Сидоров А. В. Минимизация влияния электростатических полей на рабочих местах с персональными компьютерами на концентрацию лёгких аэроионов. *Технологии техносферной безопасности*. 2014. Вып. № 1 (53). 10 с. URL:<http://ipb.mos.ru/ttb> (дата звернення: 23.05.2023).

20. Сидоров О. В. Вплив електростатичних полів на концентрації легких аероіонів на робочому місці оператора ПЕОМ. *Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия: Безопасность жизнедеятельности*. 2013. Вып. 71, Т.2. С. 176–183.

21. Сидоров О. В. Вплив зовнішнього повітря на концентрацію легких аероіонів у повітрі приміщень. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету: спеціальний випуск до VII науково-практичної конференції «Сучасні проблеми збалансованого природокористування»*. 2012. С. 82–85.

22. Noakes C.J., Sleigh P.A., Beggs C.B. Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated rooms. *Proceeding of the 10 th Int.Conference on Air Distribution in Rooms (Roomvent 2007)*, 13 – 15 June 2007. Helsinki, 2007. 11 p.

23. 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.

24. Fletcher L. A., Noakes C. J., Sleigh P. A. et al. Air ion behavior in ventilated rooms. *Indoor and Built Environment*. 2008. No. 17 (2). P. 173–183.

25. 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.
26. Беляев Н. Н., Цыганкова С. Г. Оценка аэроионного режима в рабочей зоне при искусственной ионизации воздуха в помещении. *Научный вестник строительства*. 2015. № 3 (81). С. 158–161.
27. 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>
28. 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.2017.01.003>.
29. Ченчевой В. В., Сукач С. В., Ченчева О. О., Федорова Н. С., Григор'єва Д. С. Дослідження параметрів гідроаероіонного складу 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>.
30. 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». Серія: Технічні науки та архітектура*. 2021. Том 4, № 164. С.215–219.
31. Панова О. В. Актуальні проблеми нормування фізичних факторів при експлуатації засобів обчислювальної техніки. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура*. 2021. Вип. 6 (166). С. 169–174. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-6-166-169-174>.
32. Hui Wang, Bing Wang, Xiang Niu, Qingfeng Song, Mingwen Li, Yuanyuan Luo, Lidong Liang, Pengfei Du, Wei Peng, Study on the change of negative air ion

concentration and its influencing factors at different spatio-temporal scales, *Global Ecology and Conservation*, Volume 23, 2020, e01008, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01008>.

33. Глива В. А. Дослідження впливу мікрокліматичних параметрів повітрообміну на аероіонний склад повітря робочих приміщень. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2011. № 20. С. 58–65.

34. Запорожець О. І. та ін. Визначення параметрів оптимальної комфортності у робочій зоні приміщення за показниками повітряного середовища. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2017. Випуск 1/2017 (102). С. 17–21.

35. ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування", затв. наказами Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 25.01.2013 р. № 24 та від 28.08.2013 р. № 410. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018>

36. Черный К. А. К вопросу о методах оценки и коррекции аэроионного состава воздушной среды на рабочих местах операторов ПЭВМ. *Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Медицинские информационные системы»*. 2010. № 9 (110). С. 70–74.

37. Бабич Н. И., Панов В. Г., Антощук С. Г., Бурдыка Л. Ф. Проблема аэронификации при создании рационального микроклимата в помещениях с персональными компьютерами. *Електромашинобудування та електрообладнання*. 2009. Вип. 74. С. 41–47.

38. Gustavs K. Options to minimize non-ionizing electromagnetic radiation exposures (EMF/RF/Static Fields) in office environments. Final paper of Environmental & Occupational Health Certificate Program. University of Victoria. 2008. 158 p.

39. Маврин С. А., Нескородов А. А. Ионизированный воздух как вредный–полезный производственный фактор. *Здоровье населения и среда обитания*. 2003. №7. С. 22–25.

40. Pokhodzey L., Paltsev Yu., Rudneva E. Electromagnetic conditions hygienic assessment at workplaces with personal computers: history and present status. *Hygiene and sanitation*. 2019. Vol. 98. PP. 1196–1200. DOI: [10.18821/0016-9900-2019-98-11-1196-1200](https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-11-1196-1200).

41. Коренівська О. Л. Методи та апаратура для визначення кількості аероіонів в іонізованому повітрі. *Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки*. 2010. № 2 (53). С. 93–102.

42. Назаренко В.І. Сучасні проблеми та перспективи нормування фізичних факторів виробничого середовища в Україні. *Науково-практична конференція присвячена шістнадцятому марзєєвським читанням «Фізичні фактори довкілля та їх вплив на формування здоров'я населення України»*: Зб. тез доп., Вип. 20. 2020. С. 16–17.

43. Назаренко В. І., Чабанова О. В., Мартиросова В. Г. та ін. Фізіолого-гігієнічна оцінка умов праці телефоністів сучасного цифрового зв'язку. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2007. № 3. С. 49–55.

44. Минх А.А. Ионизация воздуха и ее гигиеническое значение. 1963. 352 с.

45. Шилкин А. А., Губернский Ю. Д., Миронов А. М. Аэроионный режим в гражданских зданиях. 1988. 168 с.

46. Чижевский А. Л. Аэрофикация в народном хозяйстве. 1989. 488 с.

47. Maczyfiski B., Tyczka S., Marecki B., Gdra T. Effect of the Presence of Man on the Air Ion Density in an Office Room. *International Journal of Biometeorology*. 1971. Vol. 15, № 1. P. 11–21.

48. Kolarz P. M., Filipovi D. M., Marinkov B. P. Daily variations of indoor air-ion and radon concentrations. *Applied Radiation and Isotopes*. 2009. Vol. 67. Issue 11. P. 2062–2067.

49. Maczyfiski B., Tyczka S., Marecki B., Gdra T. Effect of the Presence of Man on the Air Ion Density in an Office Room. *International Journal of Biometeorology*. 1971. Vol. 15, № 1. P. 11–21.

50. Luts A., Parts T. Evolution of negative small air ions at two different temperatures. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2002. Vol. 64. Issue 7. P. 763–774.

51. Электрические процессы в сложных газовых средах. *Ионизация, аэрозоли, электрометрия: Ученые записки Тартуского государственного университета*. 1987. 205 с.

52. Hõrrak U. Air Ion Mobility Spectrum At A Rural Area: *A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy*. 2001. 80 p.

53. Bennett A. Measurement of Atmospheric Electricity During Different Meteorological Conditions: *A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy*. 2007. 282 p.

54. Fletcher L. A., Noakes C. J., Sleigh P. A., Beggs C. B., Shepherd S. J. Air Ion Behavior in Ventilated Rooms. *Indoor and Built Environment*. 2008. Vol. 17, No. 2. P. 173–182.

55. Запорожець О.І., Глива В.А., Сидоров О.В. Принципи моделювання динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях. *Вісник Національного авіаційного університету*. № 2. 2011. С. 120–124.

56. Сидоров О.В., Левченко Л.О. Математичне моделювання зміни концентрації легких аероіонів з відстанню від джерела іонізації. *Математичне моделювання та інформаційні технології*. Десята всеукраїнська науково-технічна конференція, 23 – 25 листопада 2011 року: збірник тез. Додаток до журналу «Холодильна техніка і технологія» № 5 (133) 2011. Одеса, 2011. С. 130–131.

57. Левченко Л.О., Глива В.А., Сидоров О.В. Тривимірне моделювання просторових розподілів концентрацій аероіонів у повітрі приміщень. *Управління розвитком складних систем*. 2012. Вип. 11. С. 115–118.

58. Noakes C. J., Sleigh P. A., Beggs C. B. Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated rooms. *Proceeding of the 10 th*

Int. Conference on Air Distribution in Rooms (Roomvent 2007), 13–15 June 2007. Helsinki, 2007. 11 p.

59. Беляев Н.Н., Цыганкова С.Г. Математическое моделирование аэроионного режима в помещении при искусственной ионизации воздуха. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2015. № 83. С. 40–46.

60. Електростатичний повітряний фільтр-іонізатор: пат. 87189 Україна, МПК: [B03C 3/08](#). № 2013100086; заявл. 14.08.2013; опубл. 27.01.2014, Бюл. № 2. 4 с.

61. Ультразвуковий іонізатор повітря: пат. України 138020, МПК G12B 17/00. Заявл. 23.05.2019, опубл. 11.11.2019. Бюл. № 21. 2 с.

62. Сидоров О. В. Дослідження впливу чинників деіонізації на зміни концентрацій легких аероіонів у приміщеннях. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування*: матеріали I Всеукраїнської (з міжнародною участю) наукової конференції студентів, магістрантів, аспірантів та молодих вчених. 2012. С. 181–183.

63. Сидоров О. В. Вплив зовнішнього повітря на концентрацію легких аероіонів у повітрі приміщень. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства*: матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції. Львів, 2012. С. 155–157.

64. Сидоров О. В. Дослідження впливу чинників деіонізації на зміни концентрацій легких аероіонів у приміщеннях. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2012. № 6. С. 163–167.

65. Maurya Y. S., Sapra B. K., Khan Arshad, Sunny Faby. Aerosol removal by unipolar ionization in indoor environments. *Environmental Assessment Division, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai, India. Aerosol Science* 35 (2004). PP. 923–941. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2004.03.001>

66. Толкунов І. О., Попов І. І. Вплив природних джерел аероіонізації на процес формування полів концентрації аероіонів у повітряному середовищі приміщень. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*.

2011. № 1 (27). С. 243–246.

67. Sukach S., Kozlovs'ka T., Serhiienko I., Khodakovskyy O., Liashok I., Kipko O. Studying and substantiation of the method for normalization of air ionic regime at industrial premises at the ultrasonic ionization of air. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 4/10 (94). P. 36–45 DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.141060>

68. Сукач С. В. Моніторинг і керування рівнями фізичних факторів виробничого середовища: дис.: ...д-ра техн. наук: 05.26.01 / Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», Покровськ, 2017. 311 с.

69. Таммет Х.Ф. Аспирационный метод измерения спектра аэроионов. *Ученые записки Тартуского государственного университета*. 1967. Тарту. Вып. 195. 232 с.

70. Котляров А.А., Мавлютов А.А., Колерский С.В. Средства контроля уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений и их метрологическое обеспечение. *Аппаратура и новости радиационных измерений*. 2000. № 4. С. 39–42.

71. Водяник А.О., Бесараб О.М., Сербінова Л.А. Методи й засоби визначення аероіонного складу повітря та концентрацій пилу в виробничих умовах. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2011. № 20. С. 66–70.

72. Коренівська О.Л. Метод та прилад для вимірювання концентрації легких аероіонів в біомедичних дослідженнях: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.17. 2013. 165 с.

73. Счётчик аэроионов «Сапфир-3к». Государственный реестр № 18295-99. Руководство по эксплуатации. Бд2.899.000 РЭ. 29 с.

74. Счетчик аэроионов малогабаритный МАС-01. Руководство по эксплуатации. МГФК 510000.001 РЭ. 2003. 24 с.

75. Air Ion Counter Model AIC Short Instructions. Manufactured in the USA by AlphaLab, Inc. 3005 South 300 West Salt Lake City, Utah 84115 USA: [Електрон. ресурс]. URL: <http://www.trifield.com/content/air-ion-counter/>.

76. Методические указания МУК 4.3.1675-03 «Общие требования к проведению контроля аэроионного состава воздуха». 2004. 8 с.

77. Колерский С. В., Котляров А. А. Основные требования к измерениям концентрации аэроионов на рабочих местах. *Аппаратура и новости радиационных измерений*. 2002. № 2(29). С. 17–20.

78. Сукач С.В., Сидоров О.В. Методологічні засади підвищення якості контролю аероіонного складу повітря виробничого середовища. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2016. № 32. С. 127–133.

79. Instructional manual. Model 8820. Multi-function environment meter. 9 p.

80. ST802 Series anemometer instruction manual. 4 p.

81. Приборы сцинтилляционные геологоразведочные СРП-68. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ЖШО.280.004 ТО. 1986. 22 с.

82. Измеритель электростатических зарядов переносной ИЭЗ-П. Паспорт. ЗМЧ.844.002 ПС. 26 с.

83. Доскин В. А., Лаврентьева Н. А., Мирошников М. П., Шарай В. Б. Тест дифференцированной самооценки функционального состояния. *Вопросы психологии*. 1973. № 6. С. 141–145.

84. Глива В. А., Левченко Л. О., Панова О. В., Тихенко О. М. Вплив мікрокліматичних параметрів на аероіонізацію повітря виробничого середовища. *Науково-технічний збірник «Містобудування та територіальне планування»*. 2018. Вип. № 68, С.108–116.

85. Tykhenko O., Burdeina N., Zozulya S. Determination of the patterns of the climate parameters effect on the indoor air quality. *Proceedings of IX International Scientific and Practical Conference «Eurasian scientific discussions»*, September 25-27, 2022. Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2022. PP. 65–70.

86. Глива В. А., Бурдейна Н. Б., Зозуля С. В. Моніторинг і нормалізація аероіонного складу повітря службових приміщень аеропортів. Матеріали X Всесвітнього конгресу «Авіація у ХХІ столітті» – «Безпека в авіації та космічні технології», Національний авіаційний університет, Київ, 28-30 вересня 2022 р. С. 4.1.30–4.1.34.

87. Тихенко О. М., Бурдейна Н. Б., Зозуля С. В. Дослідження закономірностей поширення аероіонів у приміщеннях. *Proceedings of IX International scientific and practical conference «Innovations and prospects in modern science»*. August 28-30, 2023. Stockholm, Sweden. 2023. PP. 77–82.

88. Сидоров О. В. Нормалізація аероіонного складу повітря в офісних приміщеннях: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.26.01. Київ, 2014. 20 с.

89. ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>

90. ISO 2854:1976. Statistical interpretation of data – Techniques of estimation and tests relating to means and variances. URL: <https://www.iso.org/standard/7854.html>

91. ISO 5479:1997. Statistical interpretation of data — Tests for departure from the normal distribution. URL: <https://www.iso.org/standard/22506.html>

92. Статистичне опрацювання даних. Частина 7. Медіана. Оцінювання і довірчі інтервали: ДСТУ ISO 16269-7:2006. [чин. від 2000-09-25]. К.: Держспоживстандарт України, 2008. 19 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50954

93. ДСТУ ISO 16269-6:2016 (ISO 16269-6:2014, IDT). Статистичне опрацювання даних. Частина 6. Визначення статистичних допустимих інтервалів. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=65897

94. Глива В. А., Бурдейна Н. Б., Зозуля С. В. Дослідження динаміки аероіонного складу повітря на робочому місці користувача персонального комп'ютера з урахуванням електромагнітних чинників. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2022. Т. 2 (68). С. 99–101.

95. Глива В. А., Тихенко О. М., Зозуля С. В., Козлітін О. О. Дослідження впливу електростатичних полів на концентрації аероіонів на комп'ютеризованих робочих місцях. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2023. Т. 2 (72). С. 179–182.

96. Фролов В. Ф., Панова О. В., Зозуля С. В. Прогнозування аероїнного складу повітря за наявності природних і штучних джерел іонізації. *Комунальне господарство міст*. 2022. 1 (168), С. 129–133

97. Тихенко О. М., Зозуля Л. А., Зозуля С. В. Обґрунтування особливостей екранування електромагнітного випромінювання ультрависоких і вищих частот. *Актуальні проблеми безпеки на транспорті, енергетики, інфраструктури: матеріали I міжнар. наук.-практ. конф., 8-11 вересня 2021 р. Херсон, 2021*. С. 146–149.

98. Спосіб виготовлення композиційного матеріалу для екранування рентгенівського випромінювання: патент 149958 на корисну модель, Україна МПК 2021.01, H05R 9/00. G12D 17/02 (2006.01). № и 2021 04648; заявл. 16.12.2021; опубл. 15.10.2021, Бюл. № 50.

99. Глива В. А., Матвєєва І. В., Левченко О. Л., Кічата Н. М. Проектування композитних матеріалів на основі дрібнодисперсної залізовмісної субстанції для екранування іонізуючих випромінювань. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2020. № 2(60). С. 110–113. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.2.110>

100. Зозуля С. В., Глива В. А., Матвєєва І. В., Зозуля Л. А. Дослідження захисних властивостей залізовмісного композиту для екранування рентгенівських випромінювань. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2021. Т. 3 (65). С. 123–125.

101. Глива В. А., Халмурадов Б. Д., Кашперський В. Є., Панова О. В., Бірук Я. І., Зозуля С. В. Методологічний підхід до оцінювання ризиків впливу фізичних факторів техногенного походження в умовах невизначеності. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2021. Т. 1 (63). С. 123–125.

102. 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. 1(10(115)). P. 24–30. (**Scopus**).

Методика виконання вимірювань концентрації легких аероіонів у повітрі приміщень лічильником аероіонів «Сапфір-3К»

1. Призначення та область застосування

Даний документ встановлює методику виконання вимірювань концентрації легких аероіонів лічильником аероіонів «Сапфір-3К» (далі – прилад) у повітрі виробничих та громадських приміщень при проведенні контролю рівнів іонізації повітря на відповідність встановленим санітарним нормам та при проведенні наукових досліджень процесів іонізації та деіонізації повітря приміщень. Діапазон вимірювання концентрації легких аероіонів від $2 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^5$ см⁻³, відповідно до паспорта приладу.

2. Вимоги до похибки вимірювань

Межа допустимої основної похибки вимірювань концентрації аероіонів у відносних одиницях не перевищує $0,4 + 0,01 \cdot (n_k/n_i - 1)$, де n_k – кінцеве значення межі встановленого піддіапазону вимірювань; n_i – покази лічильника. Додаткові похибки виникають при зміні температури, вологості повітря та атмосферного тиску до значень, що виходять за діапазон, встановлений для експлуатації приладу.

3. Засоби вимірювань

При проведенні вимірювань концентрації легких аероіонів рекомендовано використовувати два чи більше прилади для підвищення точності результатів вимірювань.

4. Метод вимірювань

Робота приладу заснована на аспіраційному методі. Вимірювання концентрації легких аероіонів здійснюється шляхом вимірювання електричного заряду, що утворюється на збираючому електроді за визначений час осідання аероіонів та накопичення заряду.

5. Вимоги безпеки, охорони навколишнього середовища

Перед початком роботи з приладом необхідно вивчити Керівництво з експлуатації приладу.

7. Умови вимірювань

При виконанні вимірювань у приміщенні повинні бути дотримані наступні умови:

- температура оточуючого повітря (22 ± 5) °C;
- атмосферний тиск (760 ± 30) мм рт. ст.;
- вологість повітря (30÷80) %;
- напруга в мережі (220 ± 11) В;
- частота змінного струму у мережі живлення (50 ± 1) Гц.

8. Підготовка до виконання вимірювань

Провести зовнішній огляд приладу у відповідності до керівництва з експлуатації: перевірити відсутність зовнішніх дефектів та пошкоджень, а також цілісність органів управління.

Увімкнути прилад: увімкнути тумблер живлення та перевірити працездатність приладу у режимах «Калібровка» та «Перевірка 0».

Щоб виключити вплив електростатичного поля одягу та тіла оператора провести вимірювання концентрації легких аероіонів при розміщенні оператора на відстанях 1 м, 2 м, 3 м від приладу (2 хвилини вимірювань на кожній позиції оператора). Якщо результати вимірювань вкажуть на чітку залежність концентрацій легких аероіонів від відстані оператора до приладу (підвищення концентрації при збільшенні відстані), то за таких умов проводити вимірювання не можна. Оператору слід позбавитися від електростатичного заряду на одязі та провести повторні вимірювання для перевірки впливу оператора на результати. Приступати до проведення вимірювань можна лише тоді, коли електростатичне поле одягу та тіла оператора не здійснює впливу на результати вимірювань.

Щоб виключити вплив параметрів повітряного середовища приміщення слід провести вимірювання температури, відносної вологості, атмосферного

тиску та швидкості переміщення повітря на місці вимірювання концентрації легких аероіонів. Отримані результати необхідно врахувати при аналізі результатів вимірювання концентрації легких аероіонів.

Якщо при проведенні перевірочних вимірювань реєструються концентрації аероіонів певної або обох полярностей, що перевищують 5000 іонів/куб. см за відсутності аероіонізаторів, то слід провести контроль на відповідність об'єкту вимогам радіаційної безпеки та прийняти усі необхідні заходи у відповідності з санітарними правилами по забезпеченню радіаційної безпеки.

9. Виконання вимірювань

Встановити прилад на місце проведення вимірювань, при цьому зовнішні потоки повітря мають бути перпендикулярні поздовжній осі аспіраційною камери. При проведенні вимірювань перед аспіраційний входом приладу не повинні знаходитися сторонні предмети.

Увімкнути прилад, провести протягом 5 хвилин перевірку приладу в режимах «Калібровка» та «Перевірка 0», увімкнути кнопку «Робота» та через 3 хвилини почати реєстрацію результатів вимірювань.

При реєстрації результатів оператор має знаходитися на відстані не ближче 2 м від приладу.

При проведенні вимірювань для визначення відповідності концентрації легких аероіонів санітарним нормам вимірювання проводять безперервно протягом 2 хвилин з триразовою повторюваністю протягом півгодини в різний час доби (вранці, опівдні, ввечері).

Вимірювання для контролю відповідності санітарним нормам концентрацій легких аероіонів у повітрі виробничих та громадських приміщень повинні проводитися не раніше ніж за 1 годину після початку робочої зміни при здійсненні характерних технологічних виробничих процесів для об'єкту, що контролюється.

При проведенні вимірювань для вивчення зміни концентрації легких аероіонів під дією фактора або групи факторів, вплив яких змінюється за короткі проміжки часу, слід проводити безперервні вимірювання протягом всього

інтервалу часу, за який вивчається вплив фактора (факторів) на зміну концентрації легких аероіонів.

При проведенні вимірювань для вивчення зміни концентрації легких аероіонів під дією фактора або групи факторів, вплив яких не змінюється з плином часу, вимірювання слід проводити у режимі «2 хвилини безперервних вимірювань – 2 хвилин перерви» протягом всього інтервалу часу, за який вивчається вплив фактора (факторів) на зміну концентрації легких аероіонів.

10. Обробка результатів вимірювань

Результатом вимірювання є концентрація легких аероіонів ($n_{\text{изм}}$), що визначена як середнє арифметичне 24 показів приладу, зареєстрованих безперервно протягом двох хвилин вимірювань, та виражена в см^{-3} .

Перед визначенням середнього арифметичного з вибірки показів приладу виключаються промахи за критерієм «трьох сігм».

Оцінка середнього квадратичного відхилення для отриманої вибірки результатів розраховується за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (n_i - n_{\text{сред}})^2}{m - 1}},$$

де n_i – результат одиничного вимірювання концентрації легких аероіонів, см^{-3} ;

$n_{\text{сред}}$ – середнє арифметичне значення концентрації легких аероіонів, см^{-3} ;

i – номер вимірювання (показу лічильника аероіонів);

m – кількість показів лічильника аероіонів (з врахуванням виключення промахів).

Відносна похибка вимірювань θ визначається виразом:

$$\theta = 0,4 + 0,01 \cdot (n_k / n_i - 1).$$

Результат вимірювань має бути представлений у вигляді:

$$n = n_{\text{изм}} \pm \Delta,$$

де $n_{\text{изм}}$ – середнє арифметичне показів приладу за дві хвилини проведених вимірювань, см^{-3} ;

Δ – межі похибки результату вимірювань, см^{-3} .

Розрахунок меж похибки надається в абсолютних одиницях, розрахованих за формулою:

$$\Delta = \theta \cdot n_{\text{изм.}}$$

11. Контроль точності

Контроль точності результатів вимірювань проводять щорічно згідно методики перевірки, вказаної в Керівництві з експлуатації приладу.

12. Оформлення результатів

Результати вимірювань реєструють в робочому журналі.

Результати вимірювань при перевірці відповідності концентрації легких аероіонів санітарним нормам рекомендується реєструвати за формою, використовуючи Рекомендації щодо заповнення протоколу вимірювань аероіонного складу повітря.

Документи, що підтверджують впровадження результатів досліджень



вул. Академіка Туполева, 1, м. Київ,
03062 Україна
Факс: 38(044) 454-79-66
Тел.: 38(044) 454-31-49
E-mail: info@antonov.com
Код ЄДРПОУ 14307529

вул. Akademika Tupoleva, 1, Kyiv,
03062 Ukraine
Fax: 38(044) 454-79-66
Phone: 38(044) 454-31-49
E-mail: info@antonov.com

Від 15 березня 2015 р.

№ 500-IT/1-23

Акт

**впровадження результатів дисертаційних досліджень
Зозулі Сергія Васильовича
з моніторингу і нормалізації концентрацій аероіонів
у виробничих приміщеннях**

Цей акт складено на підтвердження того, що результати досліджень Зозулі С. В. було впроваджено на ДП «Антонов».

Було проведено контрольні вимірювання якості повітря за аероіонним складом та напруженостями поверхневих електростатичних зарядів у приміщеннях, де здійснюється конструкторська розробка та адміністративна діяльність. Встановлено, що вихідні концентрації аероіонів у приміщеннях, де експлуатується комп'ютерна техніка протягом робочого дня складала для позитивних іонів – 420–240 см⁻³, негативних – 280–200 см⁻³ за температури 19–22 °С та відносної вологості повітря 35–45 %. При цьому напруженість полів електростатичних зарядів біля синтетичних підлогових покриттів складала 0,7–5,6 В/м, на поверхнях меблів – 0,4–5,2 В/м. За температури 22–25 °С та відносній вологості повітря 25–45 % концентрації аероіонів складала позитивні 500–460 см⁻³, негативні 470–340 см⁻³. Отримані дані не відповідають чинним санітарним нормам. Для нормалізації концентрації аероіонів було застосовано ультразвуковий іонізатор-зволожувач повітря. У результаті його застосування концентрації позитивних аероіонів зросли до 560–660 см⁻³,

негативних – 620–680 см³. При цьому було частково знижено напруженості електростатичних полів до 0,6–0,8 В/м. Встановлено, що одного іонізатора-зволожувача повітря потужністю 25 Вт достатньо для обслуговування площі виробничого приміщення 30 м² з висотою стелі 3,5 м. Для гарантованого зниження електризації полімерних поверхонь рекомендовано на початку робочого дня проводити вологе оброблення усіх полімерних поверхонь.

Додатково було проведено вимірювання рівнів електромагнітних полів на комп'ютеризованих робочих місцях. Встановлено, що джерела безперебійного живлення і системні блоки серверів генерують магнітні поля, які перевищують гранично допустимі рівні електромагнітних полів за магнітною складовою згідно чинних санітарних норм (350–650 нТл). Було рекомендовано заекранувати ці технічні засоби листовим металополімерним матеріалом. Контрольні вимірювання показали, що в усіх випадках магнітне поле знизилося до рівнів, які нижчі за нормативні (200 нТл). При виконанні досліджень за нормативні приймалися вимоги міжнародних стандартів ТСО'05 та SBM-2015.

Впровадження результатів дослідження виконані на безоплатній основі, без будь-яких фінансових зобов'язань сторін.

Заступник генерального директора
(з операційної та адміністративної
діяльності)



Віктор АВДССВ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АВІАЦІЙНИЙ МЕДИЧНИЙ ЦЕНТР**

03058 м. Київ, вул. Гарматна, 47, тел./факс: 497-50-05

12.09.23 № 207/06.14

А К Т

**впровадження результатів досліджень
Зозулі Сергія Васильовича
з нормалізації аероіонного складу повітря**

Цей акт складено за результатами розроблення та впровадження заходів з нормалізації та підтримання на нормативному рівні концентрацій аероіонів обох полярностей у повітрі приміщень.

Попередні вимірювання здійснювалися у приміщеннях з експлуатації діагностичного обладнання та на робочих місцях персоналу. Встановлено, що протягом робочого дня у більшості приміщень концентрації аероіонів знижувалися з нормативних значень 500–600 см⁻³ до 250–280 см⁻³. При цьому напруженості електричних полів підвищувалися з нормативних 0,3–0,4 В/м до 4,6–4,8 В/м. Встановлено, що факторами деіонізації є трибоелектричний ефект та робота обладнання. Наднормативні рівні досягалися протягом 1,5–2,0 години робочого часу. Встановлено, що за нормативної температури 20–23 °С відносна вологість повітря перебувала на межі нормативних значень 38–40 %. У результаті застосування штучної іонізації повітря концентрації позитивних іонів зросли до 720–790 см⁻³, негативних – 650–680 см⁻³. При цьому значення відносної вологості повітря підвищилися до 45–55 %. Отримані результати відповідають як національному нормативу з гігієнічної регламентації умов праці, так і міжнародному нормативу.

Цей акт не є підставою для взаємних фінансових претензій.

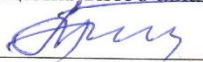
**Головний лікар - АМЕ
Авіаційного медичного центру
Національного авіаційного університету**



Вадим ПЕТЛІН

**ГОЛОВНИЙ ЛІКАР
АМЦ НАУ
В.О. ПЕТЛІН**

«УЗГОДЖЕНО»

Проректор з навчальної роботи
Національного авіаційного університету
 Анатолій ПОЛУХІН

« 20 » квітня 2023 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Ректор
Національного авіаційного університету
 Максим ЛУЦЬКИЙ



« 20 » квітня 2023 р.

АКТ
упровадження виконаної науково-дослідної роботи
у навчальний процес Національного авіаційного університету

Ми, що нижче підписалися, заступник декана з наукової роботи Факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій (ФЕБІТ), д.т.н., проф. Тихенко О. М., завідувач кафедри цивільної та промислової безпеки, к.м.н., проф. Халмурадов Б. Д., доцент кафедри цивільної та промислової безпеки, к.т.н., доц. Синило К. І., склали цей акт про те, що результати дисертаційного дослідження Зозулі Сергія Васильовича під назвою «Засоби і заходи контролю та нормалізації аероіонного складу повітря виробничих і навчальних приміщень» у вигляді методичної розробки «Методика контролю та нормалізації концентрацій аероіонів у повітрі виробничого середовища» з дисципліни «Основи охорони праці» використовуються у навчальному процесі Національного авіаційного університету на кафедрі цивільної та промислової безпеки.

Назва результату НДР, що запроваджується	Форма запровадження (монографія, підручник, навчальний посібник, конспект лекцій, методична розробка, лабораторний практикум, програма курсу, постановка лабораторної роботи, програма, продовження розробки у курсовій, дипломній роботі та ін.)	Ефект від запровадження
«Методика контролю та нормалізації концентрацій аероіонів у повітрі виробничого середовища»	Методична розробка «Методика контролю та нормалізації концентрацій аероіонів у повітрі виробничого середовища» використовується під час викладання навчальної дисципліни «Основи охорони праці» для здобувачів вищої освіти ОС «Бакалавр» спеціальності 263 «Цивільна безпека»	Методична розробка формує у здобувачів вищої освіти навички застосування сучасних методик оцінки та прогнозування аероіонного режиму у приміщеннях. Методична розробка є інструментом підвищення рівня підготовки фахівців з цивільної безпеки.

Заступник декана з наукової роботи ФЕБІТ



Оксана ТИХЕНКО

Завідувач кафедри цивільної та промислової безпеки ФЕБІТ



Батир ХАЛМУРАДОВ

Доцент кафедри цивільної та промислової безпеки ФЕБІТ



Катерина СИНИЛО