

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

БУРДЕЙНА НАТАЛІЯ БОРИСІВНА



УДК 628,5 + 613,6 / [535-3+534.6+537.5]: 378

**НАУКОВІ ЗАСАДИ МОНІТОРИНГУ ТА НОРМАЛІЗАЦІЇ РІВНІВ
ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Спеціальність 05.26.01 – охорона праці

Реферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ 2024

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Київському національному університеті будівництва і архітектури (м. Київ) Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сукач Сергій Володимирович,
завідувач кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

доктор технічних наук, професор
Болібрux Борис Васильович,
професор кафедри цивільної безпеки Національного університету «Львівська політехніка»;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Подольцев Олександр Дмитрович,
Головний науковий співробітник відділу електроживлення технологічних систем Інституту електродинаміки Національної академії наук України

Захист дисертації відбудеться «5» липня 2024 року о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.11 із захисту дисертацій при Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, проспект Повітряних сил України, 31, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, проспект Повітряних сил України, 31 або за посиланням <https://www.knuba.edu.ua/nataliya-burdejna/>

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 26.056.11
канд. техн. наук, доцент



Юлія БЕРЕЗНИЦЬКА

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Фізичні чинники виробничого середовища і довкілля техногенного походження є факторами шкідливого та небезпечного впливу на організм людини. Відповідно до численних вітчизняних та закордонних наукових досліджень, санітарних норм (ДСН 3.3.2.007-98, ДСН 3.3.6.037-99, ДСН 3.3.6.042-99), будівельних норм (ДБН В.2.2-3:2018, ДБН В.2.5-28:2018, СБМ 2015) і Директив ЄС (Directive 2002/91/EC, Directive 2013/35/EU) існує актуальна проблема моніторингу та нормалізації фізичних факторів у будівельних спорудах сучасних закладів вищої освіти. Інтенсивний освітній процес, порівняно з процесами у виробничих та офісних приміщеннях, висуває підвищені вимоги до робочих місць та умов навчання студентів і викладачів.

Значний внесок у захист працюючих від впливу фізичних чинників техногенного походження здійснили Біляєв М.М., Болібрux Б.В., Глива В.А., Здановський В.Г., Касаткіна Н.В., Левченко О.Г., Назаренко В.І., Подольцев О.Д., Сукач С.В., Тихенко О.М. та інші.

На сьогодні увага, в основному, приділяється мікрокліматичним показникам середовища, акустичному шуму, вібраціям та освітленню приміщень і робочих місць. Але при цьому недостатньо дослідженими і досконалими є заходи захисту від впливу електромагнітних полів, деіонізації повітря, низькочастотного звуку та інфразвуку. Певним чином це обумовлено майже повною відсутністю сприйняття цих чинників органами чуттів людини. Більшість досліджень та прикладних розробок зі зниження зазначених чинників стосується промислових підприємств із значними рівнями електромагнітних полів, шуму, деіонізації повітря. У той же час практично відсутні дослідження щодо стану середовища закладів вищої освіти – як навчальних аудиторій, так і загальних та спеціалізованих навчальних лабораторій. На сьогодні не є розробленими сучасні санітарні норми на заміну скасованих щодо організації та режиму використання комп'ютерної техніки. Фактично навчальні аудиторії та лабораторії підлягають загальним санітарним нормам. Але в цих приміщеннях постійно перебувають молоді люди, серед яких неповнолітні, стан здоров'я яких має підлягати особливому захисту. Майже відсутні системи контролю за станом середовища навчальних аудиторій та лабораторій закладів вищої освіти та науково обґрунтовані засоби і заходи щодо нормалізації фізичних чинників середовища, їх підтримання відповідно нормативних рівнів. Зокрема відсутні достовірні дані щодо рівнів електромагнітних полів у навчальних аудиторіях, кабінетах, майстернях, спеціалізованих лабораторіях – фізичних, електротехнічних, технологій будівництва, будівельних конструкцій, будівельних виробів і матеріалів, будівельних машин і обладнання тощо. Відсутні дослідження щодо динаміки концентрацій аероіонів, як у лекційних аудиторіях, так і в аудиторіях для проведення практичних та лабораторних занять, де можливий вплив джерел деіонізації повітря. Практично усі дослідження стосуються визначення контролю рівнів акустичного шуму найбільш шкідливих частот – 250-8000 Гц. Існують лише поодинокі дослідження низькочастотного звуку (16-250 Гц). Дослідження наявності у приміщенні інфразвуку взагалі відсутні. Таким чином, дослідження фактичних значень електромагнітних полів широкого частотного діапазону, концентрацій

аероіонів, рівнів низькочастотного звуку та інфразвуку, їх змін у просторі і часі, а також розроблення організаційно-технічних заходів їх нормалізації у навчальних аудиторіях, загальних та спеціалізованих навчальних лабораторіях є актуальною науково-практичною проблемою охорони праці.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертація виконувалась відповідно до розпорядження Кабінету Міністрів України від 12 грудня 2018 року № 989-р «Про схвалення Концепції реформування системи управління охороною праці в Україні та затвердження плану заходів щодо її реалізації, у рамках бюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України «Перспективні матеріали з керованими віброакустичними та електромагнітними характеристиками для зниження рівнів техногенних фізичних полів», 2017-2018 роки (№ ДР 0117U002370), «Розроблення комплексу моделей багатокритеріальної еколого-економічної оцінки і оптимізації чинників впливу на довкілля авіаційних підприємств в Україні», 2020-2022 роки (№ ДР 0120U102030) та «Дослідження фізичних факторів техногенного походження виробничих ризиків та засоби їх зниження», 2019-2021 роки (№ ДР 0119U002184) і наукової теми «Дослідження фізичних факторів техногенного походження виробничих ризиків та засоби їх зниження», 2021-2033 роки (обліковий номер РК реєстрації 0121U111535).

Авторка була співвиконавцем вищезазначених держбюджетних тем.

Метою роботи є розроблення теоретичного інструментарію для моніторингу рівнів електромагнітних полів, низькочастотного звуку та інфразвуку, іонізації повітря у виробничих та навчальних приміщеннях закладів вищої освіти та створення практичних засобів їх нормалізації.

Для досягнення поставленої мети було визначено і вирішено наступні **завдання**:

- провести аналіз доступних досліджень та прикладних розробок щодо заходів та засобів нормалізації рівнів фізичних чинників техногенного походження у виробничих умовах;
- провести натурні вимірювання рівнів електромагнітних полів широкого частотного діапазону у приміщеннях закладів вищої освіти та розробити засоби та заходи їх нормалізації;
- провести натурні вимірювання низькочастотного звуку та інфразвуку у приміщеннях закладів вищої освіти та розробити засоби та заходи їх нормалізації;
- провести натурні вимірювання концентрації аероіонів та визначити їх зміни у просторі та часі у приміщеннях закладів вищої освіти і розробити засоби та заходи їх нормалізації;
- дослідити динаміку впливу зовнішніх фізичних факторів на електромагнітну обстановку, рівнів низькочастотного звуку та інфразвуку, а також концентрацій аероіонів у приміщеннях закладів вищої освіти;
- здійснити моделювання поширення фізичних чинників виробничого середовища і розробити методологію проектування безпечних виробничих та навчальних приміщень.

Об'єкт дослідження – процеси генерування та поширення електромагнітних полів, низькочастотного звуку й інфразвуку, аероіонів у виробничих та навчальних приміщеннях.

Предмет дослідження – амплітудно-частотні характеристики електромагнітних полів, рівні низькочастотного звуку та інфразвуку, концентрації аероіонів обох полярностей у приміщеннях закладів вищої освіти та визначення умов їх нормалізації.

Методи дослідження. 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 рівнів електромагнітних полів, рівнів низькочастотного звуку та інфразвуку, а також концентрацій аероіонів; розрахункових методів визначення та прогнозування динаміки фізичних чинників у приміщеннях закладів вищої освіти; моделювання поширення фізичних факторів навколо технічних засобів та робочих місць; графоаналітичного методу і математичної статистики для оброблення результатів досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

уперше:

- визначені особливості амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів широкого частотного діапазону у приміщеннях закладів вищої освіти, головними з яких є магнітні поля, згенеровані некомпенсованими струмами, що протікають в системах електроживлення, та ненормативні електромагнітні поля у контрольованих смугах частот комп'ютерної техніки, що дозволило обрати необхідні параметри екранів на основі розроблених рідких та металополімерних композиційних матеріалів, які мають коефіцієнти екранування поля у низькочастотному діапазоні до 7,8 для магнітної складової, а в діапазоні ультрависоких частот – до 5,6;
- обґрунтовано і запропоновано методологічні засади визначення амплітудно-частотних характеристик низькочастотного звуку та інфразвуку у приміщеннях різного призначення закладів вищої освіти, що дозволило надати рекомендації щодо їх нормалізації та встановити, що застосування резонансних панелей, налаштованих на дві частоти максимальних амплітуд, дозволяють знизити значення інфразвуку і низькочастотного звуку на 20-30 дБ;
- визначено особливості динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях різного призначення закладів вищої освіти, що дозволило надати науково-обґрунтовані рекомендації щодо його нормалізації та підтримання в межах нормативних параметрів за рахунок використання світлодіодних систем ультрафіолетового випромінювання, а саме, забезпечити концентрації аероіонів обох полярностей не нижче 800-900 см⁻³; зменшення вмісту бактерій на поверхнях обладнання до 3 разів, колоній грибів – до 20 разів;

удосконалено:

- аналітичні методи визначення і прогнозування концентрацій аероіонів у приміщеннях різного призначення закладів вищої освіти з урахуванням внутрішніх та зовнішніх чинників впливу на концентрації аероіонів шляхом застосування

аеродинамічної моделі потенціального руху середовища та багатофакторного рівняння масопереносу замість традиційного рівняння Нав'є-Стокса, що дозволило суттєво скоротити час обчислення моделі до 7-10 с;

– методологію моделювання просторових поширень фізичних факторів з урахуванням усіх критичних чинників, а саме, просторових гармонік магнітного поля, наявності кількох превалюючих частот, низькочастотного звуку, інфразвуку з максимальними амплітудами, наявності систем примусової вентиляції тощо, які впливають на поширення та кількісні значення параметрів електромагнітних полів, низькочастотного звуку, інфразвуку і концентрацій аероіонів, що обґрунтовує доцільність застосування результатів моделювання фізичних факторів при проектуванні навчальних приміщень закладів вищої освіти та споруд цивільного захисту;

набули подальшого розвитку:

– засади моніторингу фізичних факторів в умовах їх просторово-часових змін, що надає змогу оперативно виявляти перевищення гранично допустимих значень фізичних факторів та вживати відповідні заходи безпеки.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

– отримані результати щодо амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів дозволяють спрощувати процедуру пошуку їх джерел в навчальних і виробничих приміщеннях та вживати адекватних організаційно-технічних заходів з моменту перевищення гранично допустимих значень полів з мінімальними витратами ресурсів;

– методи визначень амплітудно-частотних характеристик низькочастотного звуку та інфразвуку дозволяють ідентифікувати їх джерела та впроваджувати організаційно-технічні заходи з їх нормалізації в приміщеннях закладів вищої освіти;

– способи визначення динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях закладів вищої освіти та спорудах цивільного захисту дозволяють ідентифікувати джерела іонізації (деіонізації повітря) і визначати залежності цього показника від кількості людей, які там перебувають, режиму прибирання, впливу зовнішнього повітря;

– застосування розроблених та запатентованих матеріалів для виготовлення екранів для захисту від впливу електромагнітних полів широкочастотного діапазону, зниження рівнів низькочастотного звуку та інфразвуку дозволяє раціоналізувати ступінь захисту у залежності від конкретних умов;

– використання ультрафіолетових світлодіодних пристроїв для іонізації та дебактерізації повітря дозволяє регулювати концентрації аероіонів у приміщеннях закладів вищої освіти і спорудах цивільного захисту, а також оздоровлювати середовище;

– результати досліджень були використані при розробленні нормативного документу «Мінімальні вимоги до охорони здоров'я та безпеки працівників, які піддаються впливу електромагнітних полів», затверджених Наказом Міністерства охорони здоров'я України 13 січня 2023 року № 81. Робота проведена в плані впровадження вимог Європейських директив 2002/44/ЕС, 2003/10/ЕС та 2013/35/EU у національне санітарне законодавство, де дисертантка була співавтором. А також

при розробці Методичних рекомендацій «Застосування бактерицидних ультрафіолетових монохромних LED опромінювачів для знезараження повітря та поверхонь у приміщеннях», затверджених Національною академією медичних наук (НАМН) України від 14 листопада 2023 року, рекомендованих Державною установою «Інститут медицини праці ім. Ю. І. Кундієва НАМН України». Результати дослідження також впроваджені у навчальний процес Київського національного університету будівництва і архітектури та Національного авіаційного університету.

Особистий внесок здобувачки. Основні положення та результати дисертаційного дослідження, що проводилися відповідно до мети та завдань, отримані здобувачем самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, внеском здобувача є: [1, 2, 24] – експериментальні визначення коефіцієнтів екранування захисних матеріалів; [3, 26] – ідея, вимірювання рівнів шуму та інфразвуку; [4, 20] – методика розрахунків ризиків; [5, 9, 16, 19] – постановка задачі, визначення математичного апарату; [6, 7] – ідея, дослідження змін концентрацій аероіонів під впливом ультрафіолетового випромінювання; [8, 28, 35] – розрахунки щодо прогнозування захисних властивостей акустичних та електромагнітних екранів; [10] – експериментальна верифікація розрахункового прогнозування ефективності електромагнітних екранів; [11, 12, 17, 27, 29, 31] – визначення напруженостей електростатичних полів та динаміки концентрацій аероіонів; [13, 14, 23, 30, 32] – ідея роботи, її теоретичне обґрунтування; [34] – аналітичний огляд; [18, 22, 33] – натурні вимірювання рівнів електромагнітного випромінювання.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на наступних міжнародних науково-практичних конференціях: IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2022 – Proceedings, National Technical University of Ukraine „Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (12–14 October, 2022, Kyiv, Ukraine.); X Всесвітньої конгрес "Авіація у XXI столітті" – "Безпека в авіації та космічні технології" (28–30 вересня 2022 року, Національний авіаційний університет, Київ, Україна); AVIATION IN THE XXI-st CENTURY 2022 (28–30 September, 2022, National Aviation University, Kyiv, Ukraine); The 9th International scientific and practical conference “Eurasian scientific discussions” (25–27 September, 2022, Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain); Проблеми інформатизації: десята міжнародна науково-технічна конференція (24–25 листопада 2022 року, Київ, Україна); Екологія. Ресурси. Енергія: Міжнародна науково-практична конференції (23–25 листопада 2022 року, Київ, Україна); II Міжнародна науково-практична конференція «Green Construction» (13–14 квітня 2023 року, Київ, Україна); Будівлі та споруди спеціального призначення: матеріали та конструкції: IV Міжнародна науково-практична конференція (26-27 квітня 2023 року, Київ, Україна); International Symposium on Electric Aviation & Autonomous Systems (ISEAS 23). (5th-7th July, 2023. Warsaw University of Technology & Air Force Institute of Technology. Warsaw–Poland); Екологія. Ресурси. Енергія: Міжнародна науково-практична конференція (22–24 листопада 2023 року, Київ, Україна), а також результати дисертаційної роботи були заслухані та обговорені на наукових семінарах кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

Київського національного університету будівництва і архітектури й лабораторії вивчення та нормування фізичних факторів виробничого середовища Інституту медицини праці імені Ю.І. Кундієва (м. Київ).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 41 наукову працю, у тому числі 11 – у наукових фахових виданнях, занесених до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, 14 статей у наукових фахових виданнях України (з них 3 – одноосібно), 10 матеріалів і тез доповідей на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях, отримано 6 патентів України.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 352 найменувань на 46 сторінках і двох додатків, містить 45 рисунків, 93 таблиці. Загальний обсяг роботи становить 396 сторінок друкованого тексту, у тому числі 291 сторінку основного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету та завдання, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, розкрито наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та особистий внесок здобувача; наведено відомості про апробацію, наукові публікації та впровадження результатів дослідження.

У **першому розділі** проведено аналіз чинної нормативно-правової бази та існуючих підходів до контролю і нормалізації рівнів електромагнітних полів, звуку та концентрацій аероіонів у виробничому середовищі. З посиланнями на роботи гігієністів показано несприятливий вплив на здоров'я людей електромагнітних полів, шуму ненормативних рівнів та деіонізованого повітря. Зазначено, що до електромагнітних полів необхідно застосовувати принцип ALARP, що відповідає вимогам ВООЗ та враховується у Європейських Директивах з електромагнітної безпеки. Наведені дані щодо впливу на здоров'я людей деіонізованого повітря, а також низькочастотного шуму та інфразвуку. Проведено порівняльний аналіз вимог чинних національних та міжнародних нормативних актів з електромагнітної безпеки, рівнів шуму та інфразвуку та концентрацій аероіонів. Виявлено невідповідності вимог окремих національних санітарних норм між собою та розбіжності з міжнародними нормативами. Здійснено аналіз сучасних підходів до нормалізації електромагнітних полів, шуму та концентрацій аероіонів. Встановлено, що на сьогоднішній день є недостатньо вивченими кількісні значення електромагнітних полів, низькочастотного шуму та інфразвуку, концентрацій аероіонів та їх зміни у просторі і часі у закладах вищої освіти. Проведений аналіз дозволив визначити перелік і зміст досліджень щодо нормалізації рівнів фізичних факторів в закладах вищої освіти, які не сприймаються органами чуттів людини.

У **другому розділі** досліджено ефективність методів та методик контролю рівнів електромагнітних полів, низькочастотного звуку та інфразвуку й концентрацій аероіонів у приміщеннях. Визначено особливості контролю рівнів фізичних факторів у приміщеннях закладів вищої освіти. Головними з них є складна динаміка їх кількісних значень через змінність електронавантаження на силову мережу, різна кількість різного електричного та електронного обладнання, задіяного в навчальному процесі, змінність кількості та скупченості людей у навчальних

приміщеннях. Визначено та обґрунтовано доцільність використання обладнання з відповідними технічними характеристиками для вимірювання рівнів електромагнітних полів, рівнів низькочастотного звуку та інфразвуку і концентрацій аероіонів, а також методики вимірювань і оброблень їх результатів. Визначені загальні підходи до розрахунків щодо прогнозування рівнів електромагнітних полів, низькочастотного звуку, інфразвуку та концентрацій аероіонів. Визначено математичні функції та обґрунтовано їх застосування для моделювання просторових поширень фізичних факторів навколо технічних засобів та у приміщенні в цілому.

Третій розділ присвячено дослідженню кількісних значень та просторово-часових змін фізичних факторів у навчальних приміщеннях різного призначення й визначенню умов їх нормалізації та підтриманню на нормативному рівні. Досліджено рівні електромагнітних полів промислової частоти та частот усіх видів бездротового зв'язку в приміщеннях загального призначення, лекційних аудиторіях, аудиторіях для проведення практичних занять, загальних лабораторіях провідних закладів вищої освіти України (таблиця 1).

Таблиця 1

**Напруженості електричного поля E та індукції магнітного поля B
у навчальних приміщеннях загального призначення**

№ п/п	Частота 50 Гц		Частота 0,9 ГГц – 30 ГГц
	E , В/м	B , мкТл	W , мкВт/см ²
1	4-6	2-4	0,22-0,25
2	7-12	2-3	2,20-2,60
3	3-5	2-4	0,50-0,55
4	7-8	12-15	3,80-3,95
5	12-15	7-8	2,70-2,80
6	7-8	6-8	0,42-0,48
7	16-19	5-7	1,20-1,30
8	12-15	3-4	4,20-4,40
9	10-12	13-15	2,30-2,40
10	16-18	7-8	15,5-16,7
11	6-9	5-8	0,35-0,55
12	8-11	6-7	0,75-0,8
13	12-13	3-4	2,25-2,35
14	4-6	3-4	2,45-2,50
15	14-15	3-5	7,60-7,90
16	9-11	4-6	4,65-4,80
17	14-17	7-8	2,30-2,50
18	12-15	6-8	0,75-0,85
19	8-11	2-3	1,45-1,55
20	11-13	5-7	3,75-3,85

Значні розбіжності у рівнях електромагнітних полів промислової частоти, в основному, обумовлені різними системами організації заземлення. Зокрема найбільші рівні низькочастотних електромагнітних полів спостерігалися за наявності системи заземлення TN-C. У багатьох випадках високочастотні випромінювання мають дуже низькі значення, що підвищує власні випромінювання засобів бездротового зв'язку, наприклад, мобільних телефонів. Враховуючи, що найбільш поширеним обладнанням є комп'ютерна техніка, було виміряно значення електромагнітних полів у смугах частот, які є контрольними для комп'ютерної техніки за національними та міжнародними стандартами.

Встановлено, що найбільший внесок у електромагнітну обстановку дають люмінесцентні системи освітлення, а виміряні значення напруженостей полів значно перевищують гранично допустимі рівні для експлуатації засобів обчислювальної техніки і мають найбільші значення у місцях перебування людей поверхом вище (таблиця 2).

Таблиця 2

Напруженості електричного поля E та індукції магнітного поля B генерованих люмінесцентними системами освітлення на висоті робочого місця

Характеристика	Смуга частот	Одиниці вимірювання	Значення
Напруженість електричного поля E	5 Гц – 2 кГц	В/м	23,0-26,0
Напруженість електричного поля E	2 кГц – 400 кГц	В/м	11,0-14,0
Напруженість магнітного поля B	5 Гц – 2 кГц	мкТл	2,2-2,4
Напруженість магнітного поля B	2 кГц – 400 кГц	мкТл	значення нижче чутливості приладу

Встановлено, що у багатьох випадках магнітне поле промислової частоти має напруженість нижчу за напруженість магнітного поля частотою 150 Гц, що обумовлене нерівномірним навантаженням на окремі фази трифазної системи живлення та значним внеском (більше 20%) споживачів з нелінійними вольт-амперними характеристиками. Практично усі сучасні відеомонітори мають нормативні параметри. Але значення електричних і магнітних полів системних блоків персональних комп'ютерів та джерел безперебійного живлення значно перевищують гранично допустимі значення (таблиця 3 і 4).

Таблиця 3

Значення електричних та магнітних полів системних блоків персональних комп'ютерів у смузі частот 5–2000 Гц

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

Таблиця 4
Рівні магнітних полів джерел безперебійного живлення
у смузі частот 5–2000 Гц

Потужність, Вт	В, нТл	
	Передня панель	Бічна панель
600	110–130	120–150
1050	750–1100	710–1350
1600	1850–2200	1630–2250

Визначено, що значний внесок у електромагнітну обстановку дають незбалансовані струми системи електроживлення та струми витоків на металеві конструкції. Типовий розподіл сил струмів витоків наведено на рисунку 1.

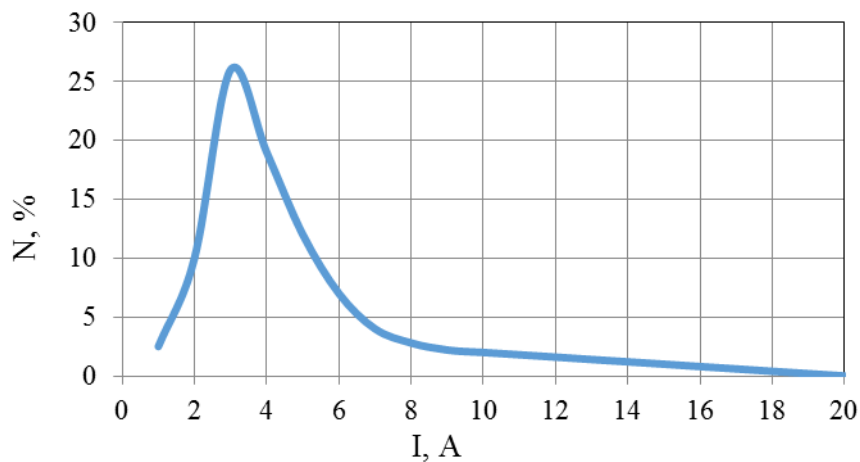


Рисунок 1. Розподіл зареєстрованих електрострумів витоків на внутрішні заземлені металеві конструкції

Узагальнений внесок різних джерел у магнітне поле промислової частоти наведено на рисунку 2.

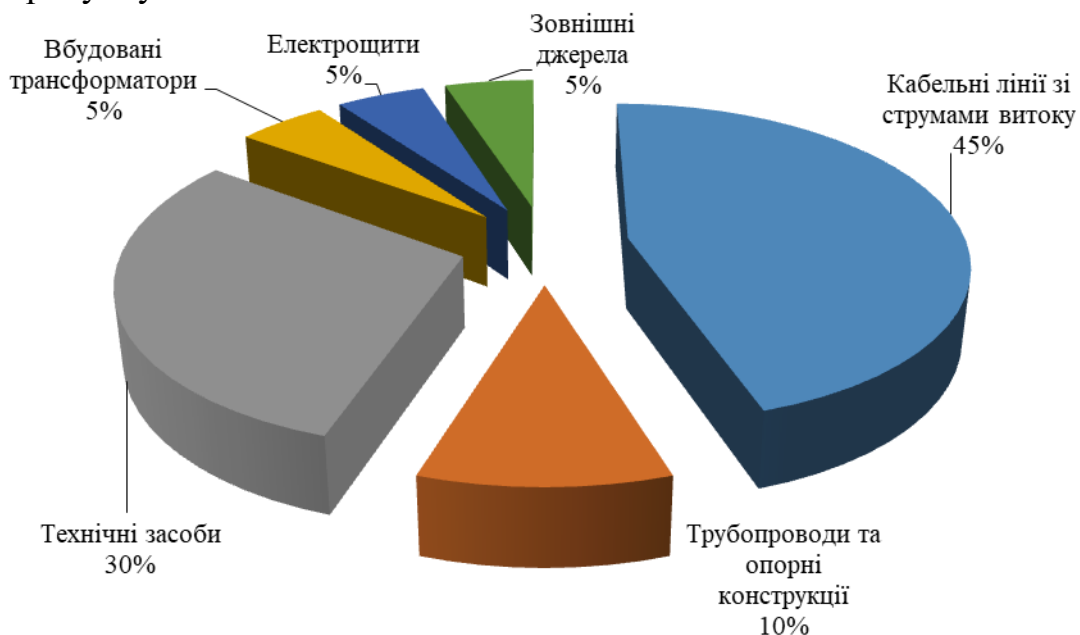


Рисунок 2. Розподіл джерел магнітного поля промислової частоти за питомою вагою (%), її гармонік та інтергармонік у будівлях різного призначення

Проведено дослідження електромагнітної обстановки в закладах вищої освіти, де висуваються заздалегідь підвищені вимоги до здоров'я курсантів. Встановлено, що має місце перевищення гранично допустимих рівнів на тренажерах обладнання морських суден (таблиці 5 і 6).

Таблиця 5

Характеристики електромагнітних полів на тренажері морського судна

Порядковий номер	Назва локації	Характеристики електромагнітних полів		
		E, В/м	B, мТл	W, мкВт/см ²
1	Усі локації при вимкненому тренажері	7	0,002	2-3
2	Ходовий місток	7	0,02	213
3	Робоче місце інструктора	110	0,15	40
4	Робоче місце курсанта	70	0,40	21

Таблиця 6

Характеристики електромагнітних полів на Dynamic Positioning Simulator

Порядковий номер	Назва локації	Характеристики електромагнітних полів		
		E, В/м	B, мТл	W, мкВт/см ²
1	Усі локації при вимкненому тренажері	6-7	0,002	2-3
2	Робоче місце інструктора	7	0,17	32
3	Робоче місце курсанта	55	0,20	18

Встановлено, що джерелом цих полів є апаратура обслуговування тренажерів, розташована між робочими місцями інструктора і курсанта. Розроблені та обґрунтовані рекомендації щодо двостороннього екранування обладнання екранами, виготовленими із металополімерних матеріалів.

Захисні властивості екранів наведені на рисунку 3.

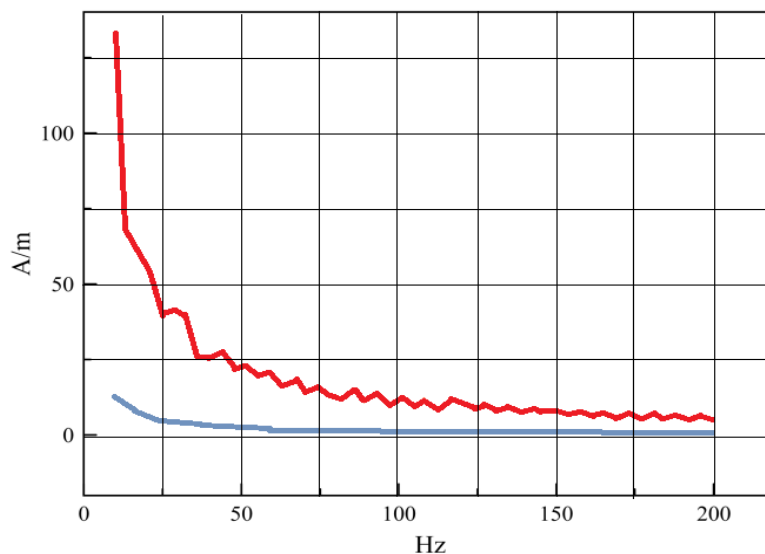


Рисунок 3. Зниження рівнів електромагнітних полів тренажерного обладнання екранами, виготовленими із металополімерних матеріалів (червоним кольором наведено графік вихідного спектру поля, синім – екранованого)

Аналогічні дані отримано для усього тренажерного обладнання гвинтокрилів, які перебувають вище або на межі гранично-допустимих значень. На авіаційному тренажері-симуляторі ALX класу Airbus A320 перевищень і наближень до гранично-допустимих рівнів не встановлено.

Для нормалізації рівнів електромагнітних полів розроблено ряд металополімерних матеріалів, які відповідають сучасним вимогам.

Основні вимоги до композиційних матеріалів для облицювання поверхонь будинків, певних приміщень та окремих технічних засобів є прийнятна ефективність з можливістю керування коефіцієнтами екранування; малі коефіцієнти відбиття електромагнітних хвиль; технологічність застосування – можливість облицювання поверхонь складних конфігурацій, екологічність компонентів, прийнятна вартість.

Розроблені та досліджені характеристики матеріалів на основі латексу та стандартних лакофарбових матеріалів забезпечують коефіцієнти екранування електромагнітних полів у низькочастотному діапазоні до 7,8 по магнітному полю, а в діапазоні ультрависоких частот до 5,6.

Виміряно рівні інфразвуку у навчальних приміщеннях. Рівні інфразвуку у комп'ютерному класі наведено у таблиці 7.

Таблиця 7

Рівні інфразвуку в комп'ютерному класі

ν , Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	99	96	101	99	95	100	94	90	105	88	72	54

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 58 дБА, рівень за шкалою «Lin» – 92 дБ, різниця показів – 34 дБ, що свідчить про дуже значну наявність інфразвуку.

Рівні інфразвуку у лекційних аудиторіях та аудиторіях для практичних і семінарських занять наведено у таблицях 8 і 9.

Таблиця 8

Рівні інфразвуку в лекційній аудиторії на 190 студентів

ν , Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	80	80	77	76	78	72	60	75	76	74	74	72

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 62 дБА, рівень за шкалою «Lin» – 85 дБ, різниця показів – 23 дБ, що свідчить про суттєву наявність інфразвуку.

Таблиця 9

Рівні інфразвуку в аудиторії для практичних та семінарських занять на 30 студентів

ν , Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	93	88	87	87	84	86	82	83	92	76	77	74

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 47 дБА, рівень за шкалою «Lin» – 72 дБ, різниця показів – 25 дБ, що свідчить про суттєву наявність

інфразвуку. В усіх обстежених приміщеннях рівні інфразвуку не перевищують гранично допустимого значення 90 дБ, але за наявності більшої кількості джерел та зовнішнього впливу на акустичну обстановку у приміщеннях значення рівнів інфразвуку можуть стати критичними.

У процесі вимірювань у різних місцях навчальних корпусів періодично реєструвалися значення інфразвуку рівнів 75–105 дБ. Ніякої закономірності його появи не встановлено. Джерелами таких коливань можуть бути незбалансовані вентилятори вентиляційних систем, ліфтове обладнання, випадкові співпадання коливань внаслідок дорожнього руху тощо.

Вимірювання рівнів низькочастотного звуку та інфразвуку на морських тренажерах свідчить про несуттєву наявність інфразвуку. Це ж стосується симуляторів Airbus. На тренажерах гелікоптерів наявність інфразвуку дуже суттєва (таблиця 10).

Таблиця 10

Рівні інфразвуку на робочих місцях інструктора і курсанта у кабіні гелікоптера комплексного тренажера Мі-8МТВ Кременчуцького льотного коледжу

ν, Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	88	84	77	69	67	79	72	74	78	63	57	46

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 66 дБ, рівень за шкалою «Lin» – 89 дБ, різниця показів – 23 дБ, що свідчить про дуже суттєву наявність інфразвуку.

Визначено методологічні засади розроблення неоднорідних конструкцій для екранування електромагнітних та акустичних полів. Розрахунки проектування конструкцій для екранування стаціонарних та квазістаціонарних магнітних полів базуються на порівнянні значень скалярних магнітних потенціалів U_M перед захисною поверхнею та за нею. Виходячи з фундаментальних співвідношень $\vec{H} = -\overrightarrow{grad}U_M$, та $\nabla^2 U_M = 0$ і розглядаючи одиночний отвір радіусу r_0 на відстані r від джерела поля, розв'язок рівнянь відносно U_{M1} і U_{M2} (потенціали перед і за поверхнею) у полярних координатах:

$$U_{M1} = H_0 r \sin \theta \sin \varphi + \sin \varphi \sum_{n=1,3}^{\infty} C_n r^{-n-1} P_n(\cos \theta), \quad r \geq r_0, \quad 0 < \theta < \frac{\pi}{2},$$

$$U_{M2} = -\sin \varphi \sum_{n=1,3}^{\infty} C_n r^{-n-1} P_n(\cos \theta), \quad r \geq r_0, \quad \frac{\pi}{2} < \theta < \pi.$$

де $P_n(\cos \varphi)$ – поліном Лежандра, C_n – сталі інтегрування (амплітудні значення просторових гармонік поля).

Для $r \gg r_0$

$$K_e = \frac{|\overrightarrow{grad}U_{M1}|}{|\overrightarrow{grad}U_{M2}|},$$

$$K_e \approx \left[1 - \left(\frac{2}{3\pi} \right) \left(\frac{r_0}{r} \right)^3 \right] \left[\left(\frac{2}{3\pi} \right) \left(\frac{r_0}{r} \right)^3 \right]^{-1}.$$

За наявності n отворів

$$K_S = \left(\sum_{i=1}^n 1/K_{el} \right)^{-1}.$$

Екранування низькочастотного звуку та інфразвуку базується на методиці розрахунку панелі, подібної до панелі Бекеші.

Максимальне поглинання досягається на резонансній частоті, якою є частота переважної амплітуди:

$$f_r = \frac{K}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho b a}},$$

де K – порядок резонансної частоти ($K=1, 2, 3\dots$), F – сила натягіння полотна панелі, ρ – густина матеріалу панелі, l , b , a – довжина, ширина та товщина панелі.

За значення $K=1$ резонансна частота мінімальна, а панель ефективна для усіх частот, кратних мінімальній.

Внутрішня, перфорована панель також розраховується як резонансна, але наявність отворів значно знижує добротність коливальної системи – панелі, тобто робить її ефективною у широкій смузі низькочастотних коливань:

$$f_r = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{a_{ef} c^2 h}},$$

де v – швидкість звуку у повітрі, S – площа отворів, a_{ef} – ефективна товщина панелі, $a_{ef} = 0,5\sqrt{\pi S}$, a – товщина листа, h – відстань, панелі від поверхні монтажу, c – відстань між центрами отворів.

Проміжок між двома резонансними панелями заповнюється шумопоглинальним матеріалом, ефективним щодо звуку середніх та високих частот.

Для одночасного поглинання звуку усього звукового спектра застосовуються екрани з пінолатексу з додаванням магнетиту. За вмісту магнетиту 45–60 % за вагою (11–12 % за об'ємом) коефіцієнти екранування магнітного поля промислової частоти склали 2,8–7,2, електромагнітного поля частотою 2,45 ГГц – 5,8–8,4 за товщини зразка – 10 мм.

Результати вимірювань зниження рівнів шуму наведено у таблиці 11.

Таблиця 11
Зниження рівнів шуму у октавних смугах частот

Октавні смуги частот, Гц	Індекси зниження шуму, дБ									
	31,5	63	125	250	500	1К	2К	4К	8К	16К
Пінолатекс 10 мм	8	26	27	28	37	44	41	43	44	32

Як видно з отриманих даних, у низькочастотній області звукового спектра зниження шуму складає 8–28 дБ, що порівняно з відомими матеріалами є задовільним.

Проведено дослідження концентрації аероіонів у навчальних приміщеннях загального призначення з наявності витяжної вентиляції та без неї (таблиці 12, 13).

Встановлено, що деіонізація повітря відбувається до значень нижче нормативних – $n^+ = 400 \text{ см}^{-3}$; $n^- = 600 \text{ см}^{-3}$.

Таблиця 12
Зміна концентрації аероіонів впродовж навчального дня
у приміщеннях з витяжною вентиляцією

Період проведення вимірювань		Показники концентрації		
		n^+ , см ⁻³	n^- , см ⁻³	Π
I пара	початок	520	470	+0,05
	закінчення	500	460	+0,04
II пара	початок	420	410	+0,01
	закінчення	480	470	+0,01
III пара	початок	460	420	+0,04
	закінчення	470	390	+0,09

Таблиця 13
Зміна концентрації аероіонів впродовж навчального дня
у приміщеннях без витяжної вентиляції

Період проведення вимірювань		Показники концентрації		
		n^+ , см ⁻³	n^- , см ⁻³	Π
I пара	початок	490	410	+0.1
	закінчення	480	400	+0,1
II пара	початок	350	320	+0,04
	закінчення	420	390	+0,03
III пара	початок	330	310	+0,03
	закінчення	340	290	+0,08

Розроблено систему штучної іонізації повітря світлодіодними системами ультрафіолетового випромінювання. Для проведення досліджень використовувалися світлодіодні джерела ультрафіолетового випромінювання відкритого типу LED UVC T5-5W-275NM (ТОВ «LED Азімут», м. Кам'янське, Україна). Номінальна потужність одного світильника складає 5 Вт. Переважна довжина випромінювання складає 278,6 нм. Кут поширення випромінювання відносно повздовжньої осі світильника – 120°.

Результати застосування систем світлодіодного ультрафіолетового випромінювання наведено у таблиці 14.

Таблиця 14
Концентрації аероіонів у тестових приміщеннях

Приміщення №	Концентрації аероіонів, см ⁻³	
	n^+	n^-
1 (контрольне)	140–180	160–190
2 (експериментальне)	1100–1320	1290–1470
3 (експериментальне)	1290–1460	1260–1430

Перевагою таких систем є можливість їх застосування у присутності людей, швидкий початок іонізації в усьому об'ємі приміщення (таблиця 15).

Таблиця 15

Залежність інтенсивності випромінювання від відстані до LED-системи

Відстань від світильника, м	Інтенсивність УФ-випромінювання, мВт/м ²			Значення експозиції, Дж/м ²		Допустимий час опромінення УФ, хвилин
	УФ-С (200–280 нм)	УФ-В (280–315 нм)	УФ-А (315–400 нм)	При УФ-опроміненні за час 480 хвилин (8 годин)	Граничні значення експозиції	
0,05	550	37	70	13939	30	1,03
0,2	128	11	15	3242		4,5
0,5	32	–	–	806,4		17,8
1,0	9,5	–	–	240,8		60,0
1,5	4,5	–	–	114,0		126,3
2,0	1	–	–	25,3		480
2,5	–	–	–	–		–
Відстань, на якій інтенсивність УФ-випромінювання менша чутливості вимірювального приладу	2,1 м	0,5 м	0,5 м	Не регламентується		

Результати свідчать про ефективність такого типу іонізаторів повітря.

Було досліджено бактерицидну дію джерел опромінення такого типу.

В таблиці 16 представлено усереднені дані щодо кількості КУО на 1 дм² плісняві грибів в окремих точках обраних аудиторій. Як видно з даних таблиці 16, значне забруднення пліснявими грибами спостерігається у найбільш віддалених від входу точках – біля дальньої стіни приміщення. При цьому комбіноване одночасне використання UV LED світильників і рециркуляторів повітря дозволяє знизити кількість КУО пліснявих грибів у приміщенні у 20 разів, незважаючи на достатньо високу дозу необхідного для пліснявих грибів прямого УФ-випромінювання (136 – 2052 Дж/м²), яка значно перевищує ГЗЕ для людини (30 Дж/м²). В даному випадку можна говорити про високу ефективність системи рециркуляторів та УФ-опромінювачів відкритого типу для знезараження спороутворюючих мікроорганізмів. У приміщенні із застосуванням тільки УФ-опромінювачів зниження загальної кількості КУО спостерігається у 2,3 рази, а в приміщенні без системи очищення змін практично не відбувається.

Таблиця 16

Кількість колоній утворюючих одиниць (КУО) на 1 дм² пліснявих грибів в окремих точках навчальних аудиторій

Плісняві гриби, КУО/дм ²									
Дата дослідження	А.482/точки дослідження			А.478/точки дослідження			А.476/точки дослідження		
	Т.1	Т.2	Т.3	Т.1	Т.2	Т.3	Т.1	Т.2	Т.3
21.09.2022	120	8	10	27	7	9	25	15	36
21.12.2022	3	4	0	7	6	6	18	44	27
Ефект	Зменшення КУО у 20 разів			Зменшення КУО у 2,3 рази			Практично без змін		

В таблиці 17 представлено загальне мікробне число (КУО/дм²) в обраних точках навчальних аудиторій.

Таблиця 17

Загальне мікробне число в окремих точках навчальних аудиторій

Загальне мікробне число, КУО/дм ²									
Дата дослідження	А.482/точки дослідження			А.478/точки дослідження			А.476/точки дослідження		
	Т.1	Т.2	Т.3	Т.1	Т.2	Т.3	Т.1	Т.2	Т.3
21.09.2022	80	194	42	66	70	114	33	23	36
21.12.2022	77	90	33	23	16	52	40	27	38
Ефект	Зменшення КУО у 1,6 рази			Зменшення КУО у 2,8 рази			Практично без змін		

Як видно з даних таблиці 17, використання бактерицидного випромінювання UV LED світильників протягом трьох місяців призводить до зменшення загального мікробного числа у приміщенні в 2,8 рази.

В той час, як сумісне використання UV LED світильників і рециркуляторів повітря призводить до більш скромного результату – зменшення КУО у 1,6 рази. Цей факт потребує подальших досліджень з точки зору можливих антагоністичних взаємовідношень між мікробною флорою та міцетами (пліснявими грибами), кількість яких значно зменшується при використанні рециркуляторів повітря.

В таблиці 18 представлено узагальнену оцінку мікробного забруднення за стандартом SBM-2015 в навчальних аудиторіях при використанні обладнання для очищення повітря і поверхонь.

Таблиця 18

Оцінка мікробного забруднення за стандартом SBM 2015

Дата дослідження, критерій	Оцінка мікробного забруднення за SBM 2015								
	А.482/точки дослідження			А.478/точки дослідження			А.476/точки дослідження		
	Т.1	Т.2	Т.3	Т.1	Т.2	Т.3	Т.1	Т.2	Т.3
21.09.2022, ступінь забруднення	сильне	аномальне	легке	сильне	сильне	аномальне	легке	легке	легке
21.12.2022, ступінь забруднення	сильне	сильне	легке	легке	відсутнє	сильне	легке	легке	легке
Наявність ефекту	-	+	-	+	+	+	-	-	-

Як видно з приведених даних у таблиці 18, використання бактерицидних монохромних ультрафіолетових світильників LED UVC T5-5W-275NM відкритого типу в присутності людей приводить до зменшення мікробного забруднення в усіх місцях досліджень на 1–2 ступеня, відповідно до критеріїв стандарту SBM 2015. При цьому, граничне значення експозиції для людини не перевищує 30 Дж/м² і відповідає вимогам біологічної безпечності за ДСТУ EN 62471:2017.

Враховуючи встановлену ефективність світлодіодних систем ультрафіолетового випромінювання обґрунтовано доцільність їх застосування як у закладах вищої освіти, так і у спорудах цивільного захисту.

У **четвертому розділі** здійснено моделювання поширення фізичних факторів у навчальних приміщеннях. Моделювання поширення техногенних фізичних полів дозволяє оцінити їх рівні і раціоналізувати розміщення робочих місць та обладнання з урахуванням вимог чинних санітарних норм. Це реалізовано для електромагнітних полів контрольованих частот та смуг частот. Моделювання змін концентрацій аероіонів у приміщеннях здійснено за умов наявності джерел іонізації/деіонізації повітря. Але у навчальних і виробничих приміщеннях неможливо отримати модель поширення низькочастотного звуку та інфразвуку через їх низьке згасання з відстанню. Зазвичай навіть наявність звуку середніх і вищих частот у приміщеннях малих площ і об'ємів формує дифузне акустичне поле.

Моделювання поширення електричних та магнітних полів здійснювалося у середовищі розробки Visual Studio 2019 з використанням мови програмування C#, СУБД SQL Server. Користувацький інтерфейс системи реалізований у вигляді веб-додатку з використанням мови розмітки HTML5, таблиці каскадних стилей CSS, мови програмування JavaScript для динамічного відображення елементів сторінки та обчислення формул. Фактично напруженості поля виділяються кольором, які наведено у верхній частині рисунку.

Найбільш розповсюдженим обладнанням, що є джерелом електромагнітного поля є персональні комп'ютери. Рівні електричних та магнітних полів, генерованих їх компонентами у контрольованих смугах частот на фіксованих відстанях та закономірності поширення відомі. Моделювання просторових структур електричних та магнітних полів, генерованих їх компонентами у контрольованих смугах частот на фіксованих відстанях дозволяє сформулювати безпечні робочі місця та розміщення великої кількості комп'ютерів в приміщеннях.

Сучасні рідкокристалічні монітори генерують електричні поля дипольної форми, а системні блоки – магнітні поля дипольної форми. Було створено моделі електричного та магнітного полів цих пристроїв. Дипольний і магнітний моменти еквівалентних диполей визначалися з напруженостей електричного E і магнітного H полів, отриманих експериментально $p = 2\pi\epsilon_0 E r_e^3$, $m = 2\pi H r_m^3$, r_e і r_m – відстані до контрольних точок, в яких вимірювалися напруженості електричного та магнітного полів; $p=10^{-10}$ – 10^{-8} Кл·м, $m=10^{-4}$ А·м². Моделі цих полів у площині перебування користувача представлено на рисунку 5.

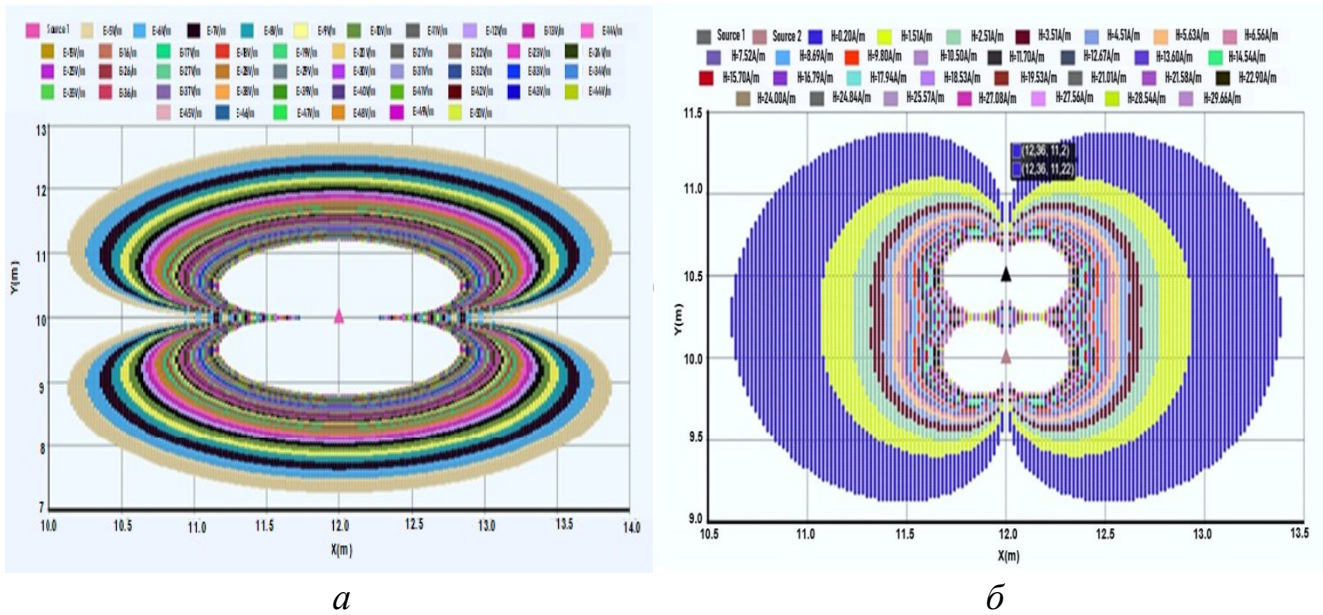


Рисунок 5. Поширення електромагнітного поля навколо одного персонального комп'ютера: *а* – електричне поле; *б* – магнітне поле

Отримана модель надає змогу сформувати взаємне розташування кількох комп'ютеризованих робочих місць з нормативними рівнями електричних та магнітних полів (рисунок 6).

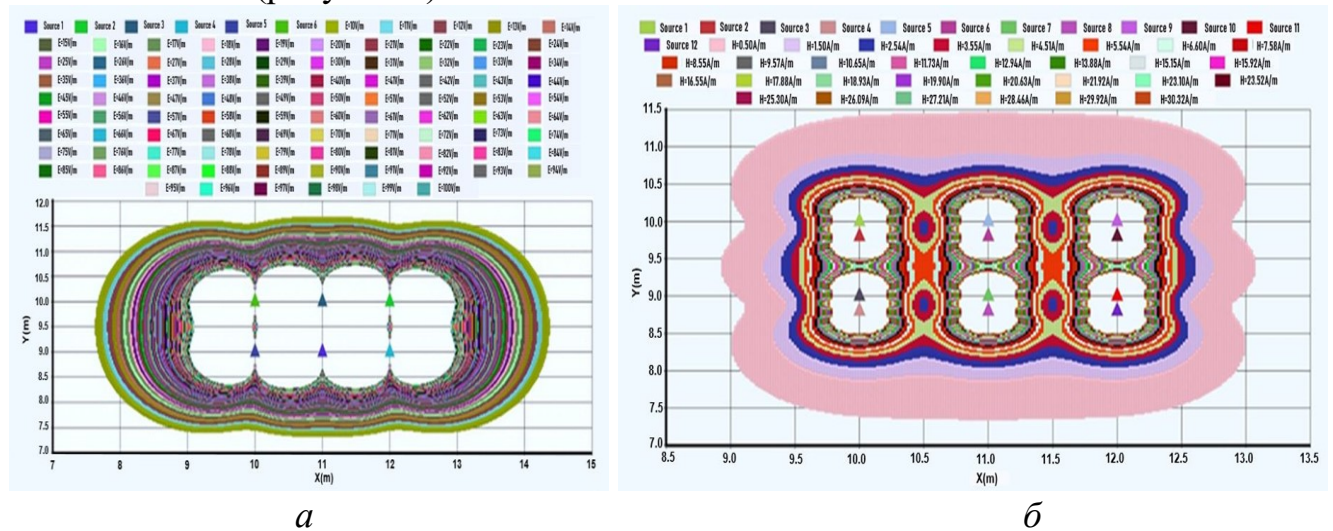


Рисунок 6. Просторовий розподіл електромагнітного поля навколо шести комп'ютеризованих робочих місць: *а* – електричне поле; *б* – магнітне поле

Було створено моделі просторового розподілу електричного та магнітного полів навколо шести комп'ютеризованих робочих місць, на кожному з яких розташовані монітор, системний блок і джерело безперебійного живлення. Моделювання поширення електромагнітного поля в приміщенні з багатьма однотипними робочими місцями дозволило з'ясувати критичні відстані між ними та визначити їх прийнятні конфігурації. Тобто знайти таке розташування монітора, системного блока та джерела безперебійного живлення, щоб вплив електромагнітного поля на людину був мінімальним. Наявність моделі сприятиме оптимізації розташування обладнання у приміщеннях з точки зору електромагнітної безпеки працюючих та електромагнітної сумісності електронного обладнання.

Поширеним виробничим обладнанням є електродвигуни різного призначення та потужності. Електричне поле цих пристроїв блокується металевими корпусами, а у навколишньому просторі поширюється магнітне поле. Для отримання коректної моделі його поширення достатньо виміряти напруженість поля біля корпусів обладнання. Магнітні моменти електродвигунів, найпоширеніших приладів та установок, мають значення $m=0,5 \text{ A}\cdot\text{m}^2$; $m=1 \text{ A}\cdot\text{m}^2$; $m=2 \text{ A}\cdot\text{m}^2$. Було створено модель просторового розподілу магнітного поля промислової частоти навколо двох електродвигунів, що мають магнітні моменти $m=1 \text{ A}\cdot\text{m}^2$. Поширення магнітного поля двох електродвигунів представлено на рисунку 7.

Аналогічну модель просторового розподілу магнітного поля у площині перебування людей отримано для трьох електрогенераторів (рисунок 8). Потужність генераторів, що знаходяться на відстані 5 м і 10 м становила 150 МВт, 150 МВт і 100 МВт. Наведені результати дозволяють компонувати робочі місця та визначати їх взаємне розташування з точки зору електромагнітної безпеки користувачів.

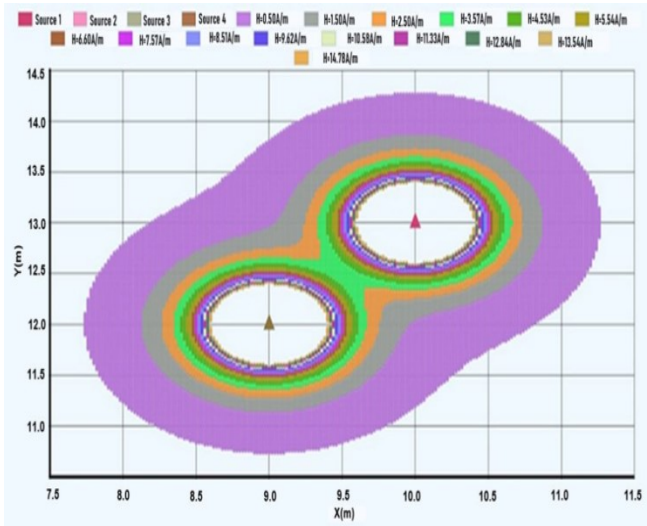


Рисунок 7. Просторове поширення магнітного поля промислової частоти навколо двох електродвигунів

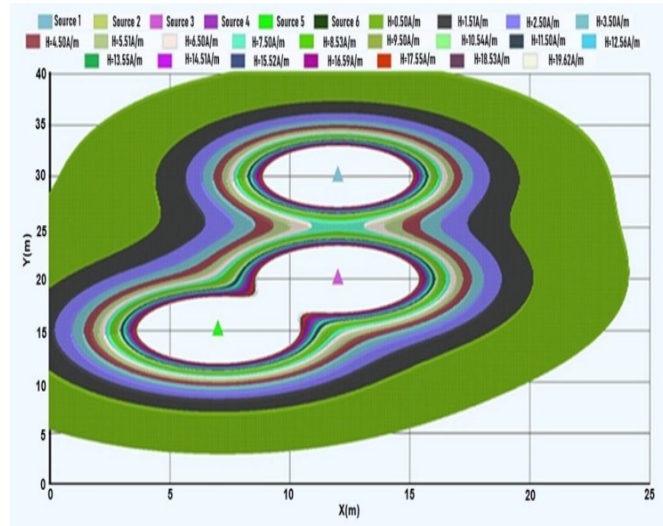


Рисунок 8. Поширення магнітного поля навколо трьох електрогенераторів у площині перебування людей

Виходячи з дипольних моделей електричного обладнання можливо змоделювати та визначити безпечні місця розташування обладнання у фізичних, електротехнічних навчальних лабораторіях.

Більшість електричних машин змінного струму є чотириполюсними, тобто вони мають дипольно-квадрупольну форму зовнішнього магнітного поля.

Електричну машину можна розглядати у сферичному наближенні (вважати сферичною, що припустимо з точки зору похибки розрахунку).

Розрахунки здійснюються у сферичних координатах. Напруженістю поля у кожній точці зовнішнього магнітного поля є геометрична сума радіальної та кутових складових напруженості магнітного поля H_r , H_φ , H_θ . У практичних розрахунках застосовується значення амплітуд просторових гармонік a_{nm} на базовій сфері $R_0=1$ (радіус машини). Значення напруженості магнітних полів розраховуються послідовно для визначених відносних відстаней до електричної машини R_0/R , де R – фактична відстань.

Точне визначення змін рівня магнітного поля з відстанню доцільно здійснювати з використанням рівняння Гауса для скалярного магнітного потенціалу. У сферичних координатах R, θ, φ функція розподілу магнітного поля джерела має вигляд:

$$U_M = R_0 \times \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{R_0}{R} \right)^{n+1} \times \sum_{m=0}^n (a_{nm} \cos m\varphi + b_{nm} \sin m\varphi) \times P_n^m \times \cos \varphi,$$

де R_0 – радіус сфери визначення потенціалу, a_{nm}, b_{nm} – сталі коефіцієнти, $P_n^m \cos \varphi$ – поліном Лежандра.

При цьому $R \geq R_0$ координати a, b є амплітудами сферичних гармонік напруженості магнітного поля на сфері R_0 .

Напруженість (індукція) магнітного поля визначаються з наведеного рівняння, виходячи з фундаментальних співвідношень:

$$\vec{H} = -\overline{\text{grad}}U_M, \quad \vec{B} = \mu\mu_0\vec{H};$$

$$H_r = \sum_{n=1}^{\infty} (n+1) \times \left(\frac{R_0}{R} \right)^{n+2} \times \sum_{m=0}^n (a_{nm} \times \cos m\varphi + b_{nm} \times \sin m\varphi) \times P_n^m \times \cos \theta;$$

$$H_\varphi = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{R_0}{R} \right)^{n+2} \times \sum_{m=0}^n (a_{mn} \times \sin m\varphi - b_{mn} \times \cos m\varphi) \times \frac{P_n^m \times \cos \varphi}{\sin \varphi};$$

$$H_\theta = \sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{R_0}{R} \right)^{n+2} \times \sum_{m=0}^n (a_{nm} \times \cos m\varphi + b_{nm} \times \sin m\varphi) \times \frac{1}{\sin \varphi} \left[(n-m+1) \times P_{n+1}^m \cos \varphi - (n+1) \times P_n^m \times \cos^2 \theta \right]$$

Наведені співвідношення свідчать, що напруженість магнітного поля знижується з відстанню, причому це зниження пропорційне збільшенню показника гармоніки n .

Підсумкове значення радіальної компоненти, тобто зміна напруженості магнітного поля з відстанню, чотириполюсної електричної машини визначається зі співвідношення:

$$H = \left(\frac{R_0}{R} \right)^3 \times a_{11} \times \cos \varphi \times \sin \varphi + \left(\frac{R_0}{R} \right)^4 \times a_{22} \cos 2\varphi \times \sin^2 \theta.$$

де a_{11} – амплітуда дипольної гармоніки магнітного поля, a_{22} – амплітуда квадрупольної гармоніки.

Для реальної електричної машини середньої потужності:

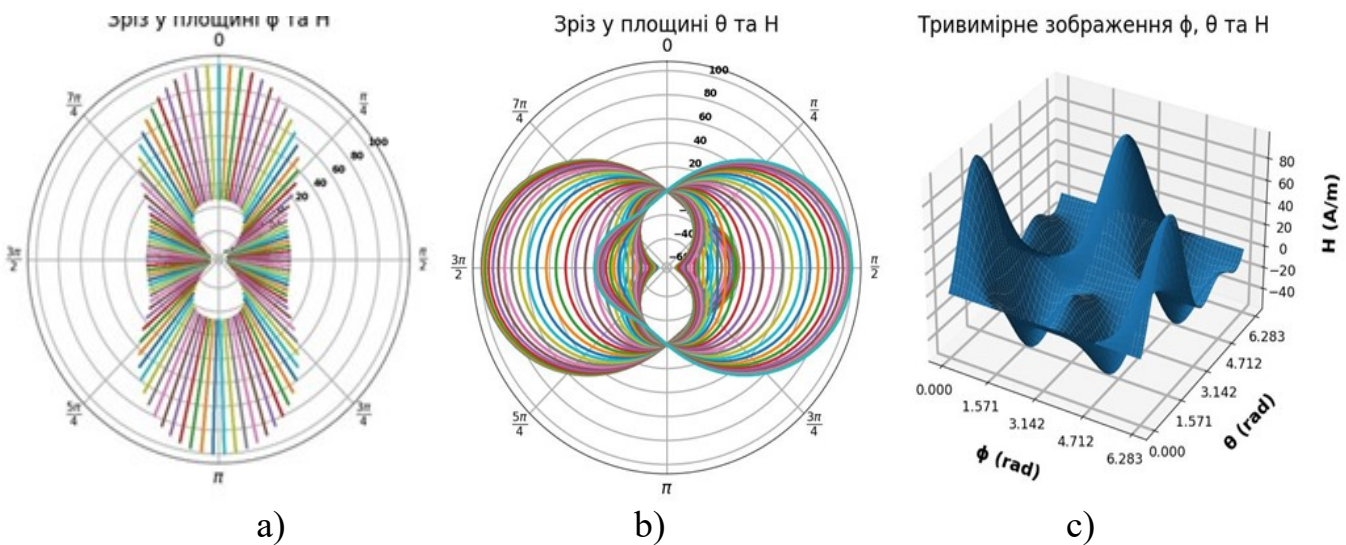
$$a_{11} \approx 400 \text{ А/м}, \quad a_{22} \approx 800 \text{ А/м}.$$

Виходячи зі значень цих коефіцієнтів здійснюється моделювання поширення магнітного поля.

Було розроблено веб-застосунок, в якому розрахункова частина виконувалась за допомогою мови Python.

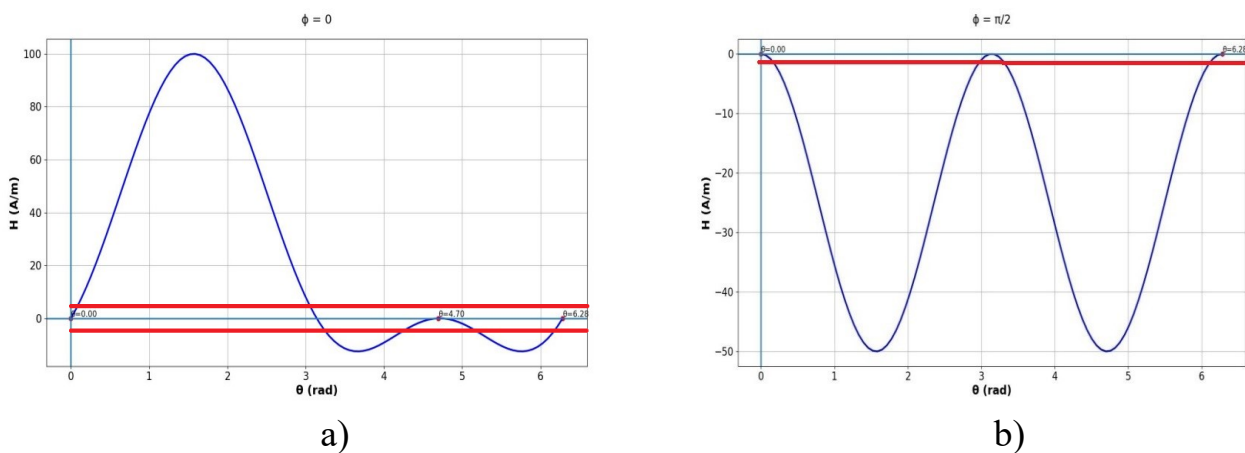
Розрахунки для візуалізацій результатів моделювання виконуються для кутів φ та θ полярних координат у межах від 0 до 2π . Крок визначення напруженості магнітного поля (кількість точок) обирається в залежності від потрібної точності (прийнятної похибки). Відстані до точок визначення напруженостей поля обираються, виходячи з радіусу базової сфери (розмір електричної машини у сферичному наближенні). Розрахунки здійснюються для співвідношення R_0/R , тобто відстань обирається у радіусах електричної машини.

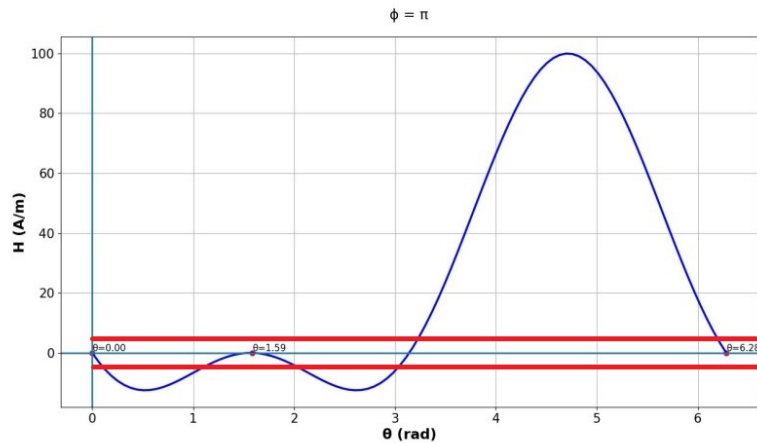
На рисунку 9 наведено напруженості магнітного поля у площинах φ та θ , а також тривимірне представлення просторового розподілу поля.



**Рисунок 9. Просторовий розподіл напруженості магнітного поля чотириполюсної електричної машини на відносній відстані $R_0/R=1/2$:
 а) напруженості магнітного поля у площині φ , б) напруженості магнітного поля у площині θ , в) тривимірне представлення розподілу поля.**

Наведені представлення не завжди зручні у практичному застосуванні моделей. Тому було проведено візуалізацію зміни магнітного поля у фіксованому напрямку (для певного кута) за зміни іншого кута полярних координат для відстані $R_0/R=1/2$ (рисунок 10).





с)

Рисунок 10. Зміни радіальної складової напруженості H_r магнітного поля електричної машини у фіксованих напрямках: а, б, с відповідають кутам $\varphi=0$; $\pi/2$; π

Як видно з отриманих залежностей, напруженість магнітного поля змінюється у різних напрямках по різному. Це пояснюється складністю конфігурації дипольно-квадрупольного поля. Вагомим практичним результатом є наявність за певних кутів точок нульової напруженості магнітного поля. Так, наприклад, для $\varphi=\pi$ та $\varphi=2\pi$ точки нульової напруженості поля відповідають значенням $\theta=\pi$.

Верифікація результатів моделювання була проведена методом натурних вимірювань біля реальної чотирьопольної електричної машини.

На рисунку 11 представлено результати вимірювання зміни напруженості магнітного поля з відстанню від електричної машини. Як видно з наведених результатів, залежність напруженості магнітного поля від відстані до електричної машини є немонотонною. Поблизу машини існує принаймні одна точка мінімальної напруженості. Ненульове значення напруженості магнітного поля можна пояснити наявністю електромагнітного оточення – магнітних полів інших джерел. Але отриманий характер кривої свідчить про адекватність моделювання.

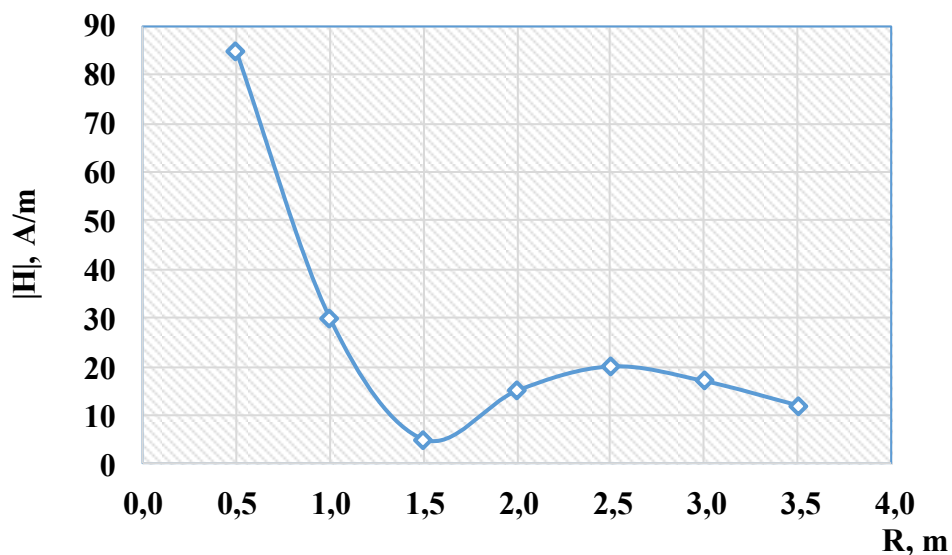


Рисунок 11. Зміна модуля напруженості магнітного поля електричної машини H з відстанню R від корпусу

Багато приміщень навчальних та загального призначення обладнанні системами припливно-витяжної вентиляції. При цьому можуть мати місце джерела як іонізації, так і деіонізації повітря. Наявність спрямованого руху повітря обумовлює різні закономірності розподілу концентрацій аероіонів обох полярностей. Для визначення розподілу таких концентрацій було здійснено відповідне моделювання з використанням тривимірних рівнянь переносу, які є формою збереження для позитивних іонів, негативних іонів та пилу.

Система моделюючих рівнянь має вигляд:

– для описання процесу розсіювання позитивних іонів:

$$\frac{\partial C_p}{\partial t} + \frac{\partial(u + bE_x)C_p}{\partial x} + \frac{\partial(v + bE_y)C_p}{\partial y} + \frac{\partial(w + bE_z)C_p}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C_p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C_p}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C_p}{\partial z} \right) - \lambda C_p C_n - \beta C_p C_d + \sum_{i=1}^n Q_{pi}(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i);$$

– для описання перенесення негативних іонів:

$$\frac{\partial C_n}{\partial t} + \frac{\partial(u + bE_x)C_n}{\partial x} + \frac{\partial(v + bE_y)C_n}{\partial y} + \frac{\partial(w + bE_z)C_n}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C_n}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C_n}{\partial z} \right) - \lambda C_p C_n - \beta C_p C_d + \sum_{i=1}^n Q_{ni}(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i);$$

– для описання перенесення пилу:

$$\frac{\partial C_d}{\partial t} + \frac{\partial(u C_d)}{\partial x} + \frac{\partial(v C_d)}{\partial y} + \frac{\partial(w - w_g) C_d}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C_d}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C_d}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C_d}{\partial z} \right) + \sum_{i=1}^n Q_{di}(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i).$$

У цих рівняннях прийнято такі позначення: $C_p(x, y, t)$, $C_n(x, y, t)$ – концентрація позитивних, негативних аероіонів, [ions/m³]; $C_d(x, y, t)$ – концентрація частинок пилу, [particles/m³]; u , v , w – компоненти вектора швидкості руху повітряного потоку, [m/s]; μ_x , μ_y , μ_z – коефіцієнти дифузії, [m²/s]; t – час, [s]; w_g – швидкість гравітаційного осадження частинок пилу; a – швидкість рекомбінації іонів, що мають різну полярність, [m³/(s·ions)]; β – швидкість рекомбінації іонів з частинками пилу, [m³/(s·ions)]; $Q_{pi}(t)$, $Q_{ni}(t)$ – інтенсивність емісії позитивних, негативних іонів, [ions/(s·m³)]; $Q_{di}(t)$ – інтенсивність емісії пилу, [particles/(s·m³)]; $\delta(x, y)$ – дельта-функція Дірака; b – коефіцієнт мобільності іонів, [m²/(V·s)]; E – напруженість електричного поля, [V/m]. При моделюванні розсіювання іонів враховується їх «дрейф» внаслідок формування електричного поля напруженістю E .

Розрахунок виконувався на прямокутній сітці. Компоненти вектору швидкості повітряного потоку визначаються на гранях різницевих осередків. Концентрації іонів різної полярності, концентрація пилу, значення потенціалу швидкості та значення скалярного потенціалу визначаються у центрах різницевих комірок.

Застосування такого підходу замість традиційного рівняння Нав'є-Стокса дозволяє пришвидшити розрахунки. На основі побудованої чисельної моделі розроблено комп'ютерний код «ION 3D». Час обчислення моделі складає 7-10 с.

На рисунках 12 і 13 наведено поле концентрацій негативних і позитивних аеріонів у приміщенні з двома робочими місцями. На розрахунковій сітці наведено концентрації іонів відносно максимальних значень у відсотках.

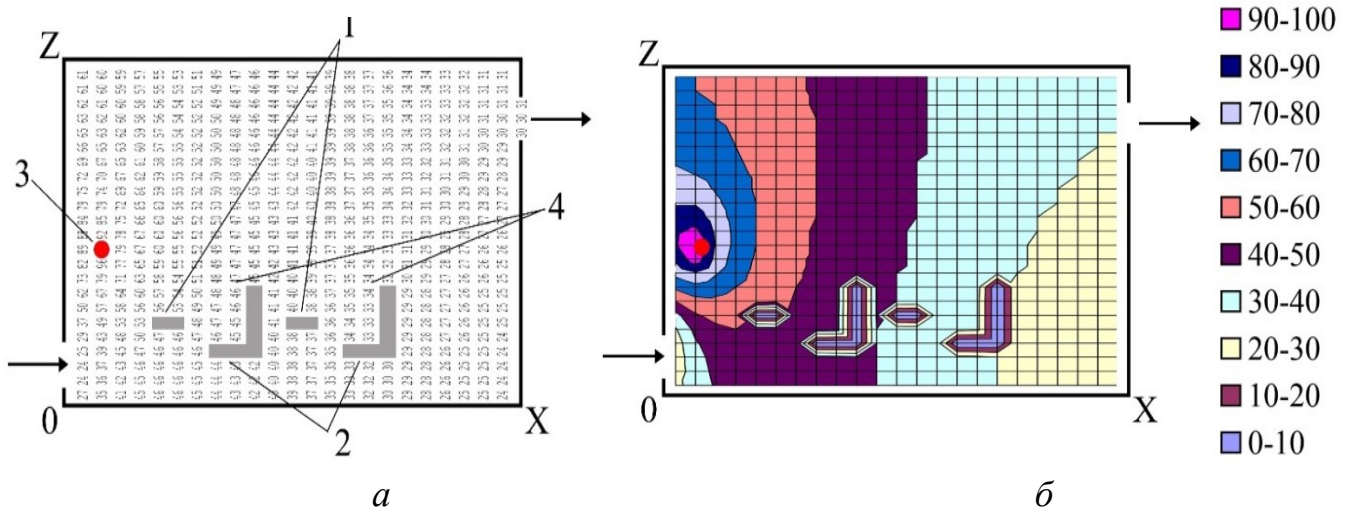


Рисунок 12. Результати моделювання поширення негативних іонів в кімнаті; переріз $y=2$ м (перший сценарій: іонізатор розташований на висоті $z=1,8$ м): *a* – матриця розподілу безрозмірної концентрації негативних іонів в кімнаті; 1 – стіл; 2 – стілець; 3 – іонізатор; 4 – позиція голови працівника; *б* – ізолінії безрозмірної концентрації негативних іонів в кімнаті

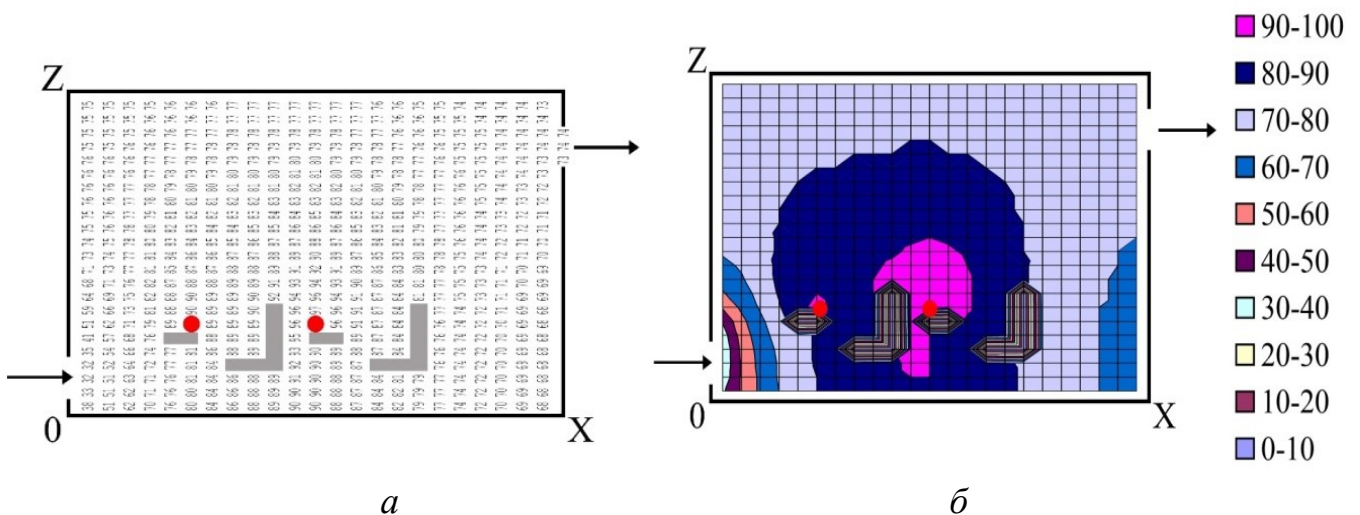


Рисунок 13. Результати моделювання поширення позитивних іонів в кімнаті, переріз $y=2$ м; *a* – матриця розподілу безрозмірної концентрації позитивних іонів в кімнаті; *б* – ізолінії безрозмірної концентрації позитивних іонів в кімнаті

На рисунку 14 наведено поле концентрації пилу в кімнаті.

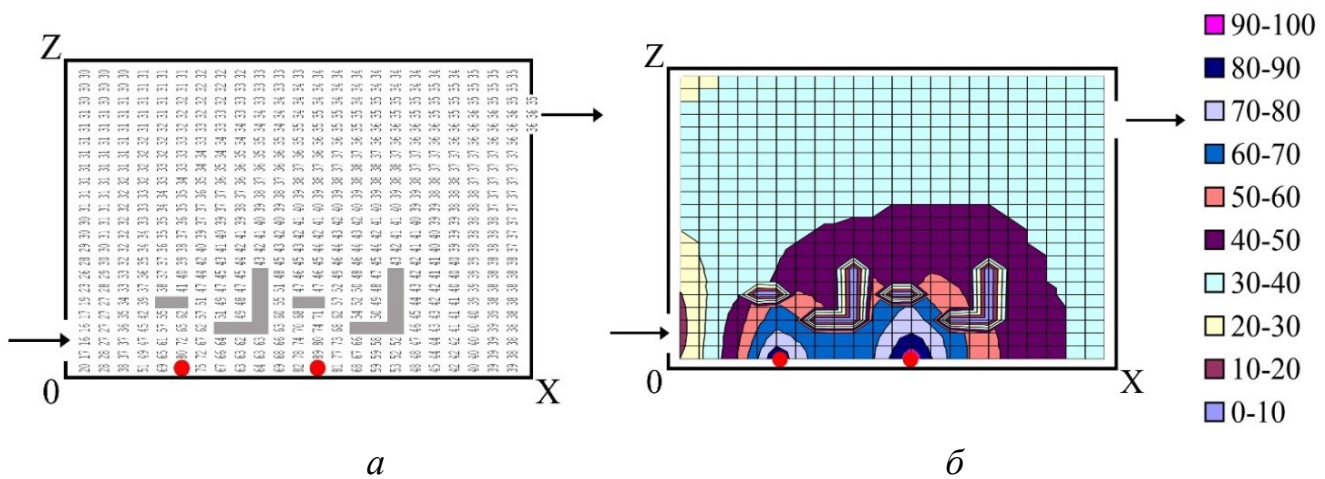


Рисунок 14. Результати моделювання поширення пилу в кімнаті; переріз $y=2$ м: *a* – матриця розподілу безрозмірної концентрації пилу в кімнаті; *б* – ізолінії безрозмірної концентрації пилу в кімнаті

Було проведено моделювання облицювальних будівельних матеріалів заданих ефективностей для екранування електромагнітного випромінювання. Моделювання здійснювалося для модельних матеріалів.

Досліджувалися металосилікатні облицювальні матеріали, виготовлені методом пресування. Основними компонентами є аморфізований дисперсний гідросилікат кальцію та гранульована мідь (розміри частинок до 60 мкм). Досліджувалися залежності загальної ефективності екранування, ефективності екранування за рахунок відбиття та поглинання електромагнітних хвиль. Визначалися залежності ефективності екранування у залежності від тиску пресування.

Основою досліджень є розрахункові методи, які базуються на фундаментальних співвідношеннях електродинаміки суцільних середовищ. Верифікація результатів теоретичних досліджень здійснювалася з використанням стандартної каліброваної вимірювальної апаратури у лабораторних умовах.

Загальна ефективність екранування електромагнітного випромінювання матеріалом

$$SE_T = 10 \log(1/T),$$

та ефективності екранування за рахунок відбиття

$$SE_R = 10 \log(1/(1-R))$$

і поглинання

$$SE_A = SE_T - SE_R,$$

можуть бути розраховані, якщо відомі коефіцієнти відбиття R , проходження T та поглинання A електромагнітної хвилі, що падає на плоскопаралельний шар речовини (екран), який знаходиться між повітрям і довільним середовищем.

При врахуванні багаторазового відбиття від внутрішніх поверхонь шару у припущенні (для спрощення розрахунків), що перше і третє середовище – вакуум (повітря), отримуємо:

$$R = R_{12} \left(1 + (1 - R_{12})^2 \exp(-4\alpha d) \cdot (1 - R_{12}^2 \exp(-4\alpha d))^{-1} \right),$$

$$T = (1 - R_{12})^2 \exp(-2\alpha d) \cdot (1 - R_{12}^2 \exp(-4\alpha d))^{-1},$$

$$A = (1 - R_{12})(1 - \exp(-2\alpha d)) \cdot (1 - R_{12} \exp(-2\alpha d))^{-1}.$$

де d – товщина екрану; R_{12} – коефіцієнт відбиття від напівнескінченного середовища з діелектричною проникністю, що дорівнює діелектричній проникності матеріалу.

На рисунку 15 представлені експериментальні і розраховані залежності проходження, відбиття та поглинання, а на рисунку 16 – залежності ефективностей екранування зразків металосилікатного матеріалу в найбільш важливому з практичної точки зору діапазоні концентрацій (концентрація наповнювача 16 % за об'ємом, що відповідає досягненню перколяційного ефекту щодо провідності матеріалу) та частоті падаючого випромінювання 20 ГГц.

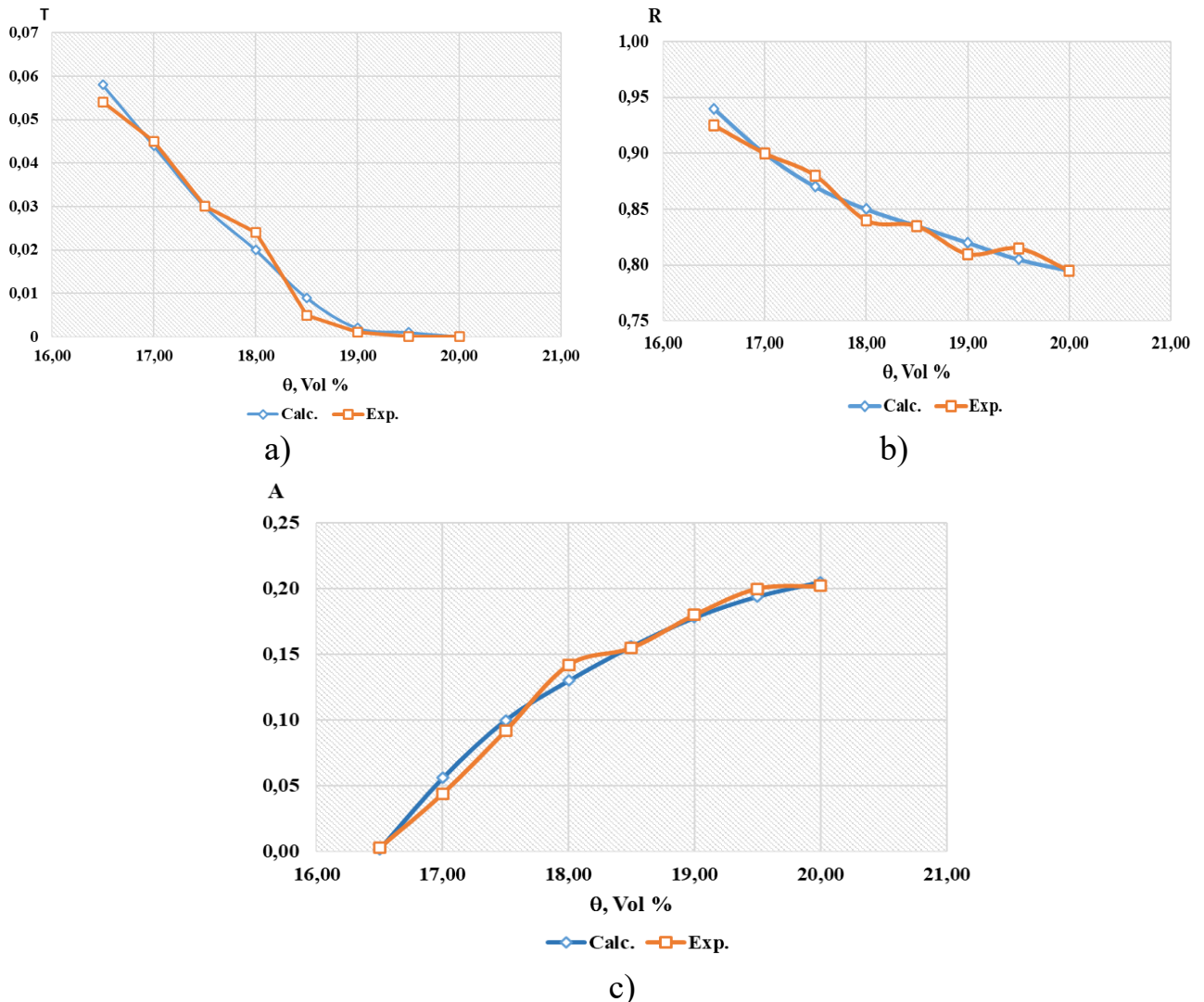


Рисунок 15. Залежності величин проходження T (а), відбиття R (б) та поглинання A (с) від вмісту металевої добавки θ у металосилікатному матеріалі

Як видно, з рисунка 15, спостерігається задовільна відповідність розрахованих та вимірних залежностей, що свідчить про адекватність запропонованої методики розрахунку.

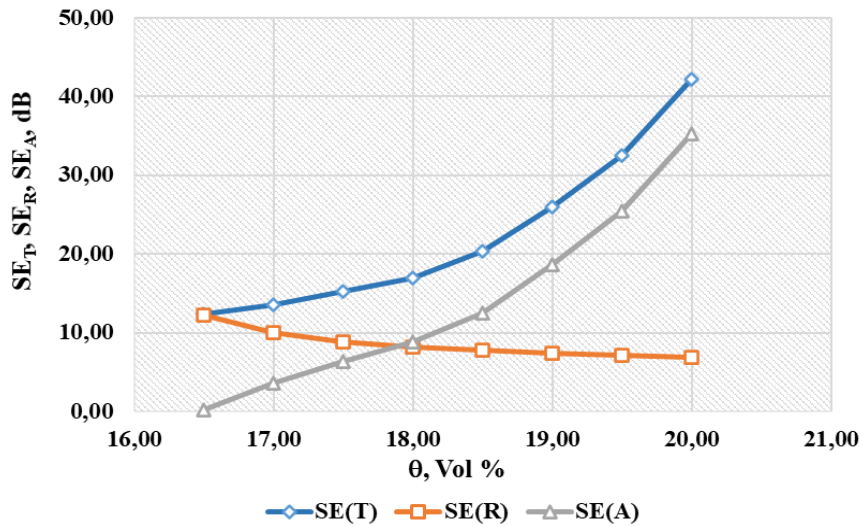


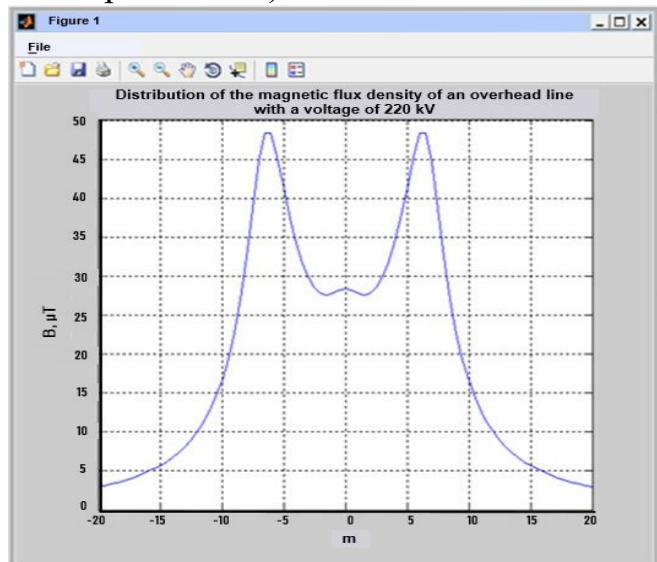
Рисунок 16. Залежності ефективностей екранування SE_T , SE_R та SE_A від вмісту металевої добавки θ у металосилікатному матеріалі

У п'ятому розділі сформульовано загальні засади проектування та системи моніторингу рівнів фізичних факторів безпечних будівель закладів вищої освіти, навчальних приміщень та споруд цивільного захисту. Визначено вплив зовнішніх джерел на рівні електромагнітних полів, інфразвуку та низькочастотного звуку і концентрації аероіонів в будівлях та приміщеннях.

Методами моделювання встановлено поширення електромагнітних полів з боку повітряних ліній електропередачі, дозволених для розміщення у населених пунктах, та трансформаторних підстанцій.

Результати моделювання поширення магнітного поля промислової частоти перпендикулярно до поздовжньої осі ліній наведено на рисунку 17, де точка «0» – проекція на землю центрального дроту (осі повітряної лінії).

a



б

Рисунок 17. Залежність індукції магнітного поля (B) від відстані до осі повітряної лінії електропередачі напругою 220 кВ: *a* – вихідні дані; *б* – графік залежності B від відстані до осі повітряної лінії електропередачі напругою 220 кВ

На рисунку 18 наведено результати моделювання поширення магнітного поля навколо трансформаторної підстанції з трьох трансформаторів.

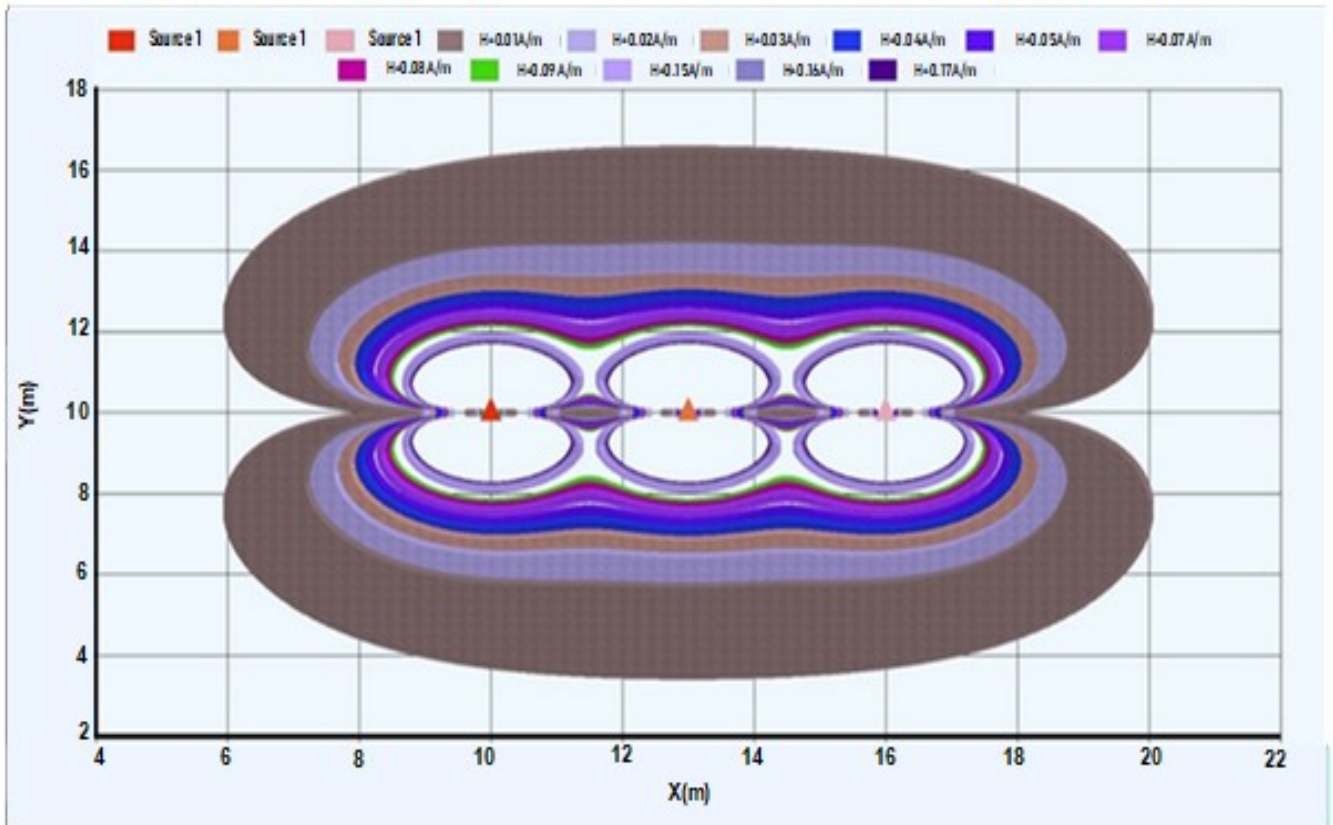


Рисунок 18. Просторовий розподіл магнітного поля навколо трансформаторної підстанції з трьох трансформаторів (на відстані 1 м від стінки, $H_1=400$ А/м, $H_2=450$ А/м, $H_3=500$ А/м)

Такі моделі дозволяють у кожному окремому випадку визначити рівні магнітних полів у залежності від розташування їх джерел. Вплив високочастотних джерел розраховується у кожному окремому випадку для відстані R в залежності від нормованої величини (E – напруженість електричного поля, W – щільність потоку енергії).

Для дуже високих частот радіус зони обмеження перебування людей визначається зі співвідношення:

$$E = \frac{\sqrt{30PG\eta}}{R} KF(\theta)F(\varphi)$$

де E – напруженість електричного поля (В/м) на відстані R (м), P – потужність випромінювача (Вт), G – коефіцієнт підсилення антени, η – коефіцієнт передачі антенно-фідерного тракту, K – множник впливу землі, $F(\theta)$ – коефіцієнт врахування діаграми спрямованості у вертикальній площині, $F(\varphi)$ – коефіцієнт врахування діаграми спрямованості у горизонтальній площині.

Для ультрависоких і вищих частот розрахунок здійснюється зі співвідношення:

$$W = \frac{8PGKF^2(\theta)\eta}{R^2}$$

де W – щільність потоку енергії випромінювання мкВт/см² на відстані R (м), P – потужність випромінювача (Вт), G – коефіцієнт підсилення антени, η – коефіцієнт передачі антенно-фідерного тракту, K – множник впливу землі, $F^2(\theta)$ – множник нормованої діаграми спрямованості у напрямку об'єкта опромінення.

Значення усіх параметрів у наведених співвідношеннях беруться з технічної документації радіотехнічних об'єктів.

Зони їх впливу (діаграми спрямованості) можуть перетинатися, тому для отримання сумарного електромагнітного навантаження на певній ділянці щільності потоків енергії додаються.

Було надано розрахунковий апарат щодо обчислення параметрів захисних сітчастих структур для облицювання зовнішніх поверхонь будівель.

Надано значення зниження рівнів шуму виткими рослинами. Значення рівнів інфразвуку та низькочастотного звуку приведена у таблицях 19, 20.

Таблиця 19

**Розподіл значень інфразвуку транспортного потоку
у третино октавних смугах частот**

ν , Гц	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
L, дБ	79	80	82	86	86	78	85	86	92	97	99	96

Рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 75 дБА, рівень за шкалою «Lin» – 105 дБ, різниця показів – 30 дБ, що свідчить про високу наявність інфразвуку.

Як видно з отриманих даних, найбільше значення інфразвуку припадають на частоти 10-20 Гц. Враховуючи, що межа між інфразвуком і низькочастотним звуком досить умовна, були проведені вимірювання низькочастотного звуку з боку транспортного потоку.

Таблиця 20

**Розподіл значень низькочастотного звуку транспортного потоку
у третино октавних смугах частот**

ν , Гц	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
L, дБ	90	95	94	88	76	84	82	84	85	79	69

Еквівалентний рівень низькочастотного звуку складав 80 дБА.

Встановлено, що ці коливання генеруються практично повністю автомобільним транспортом. Значення цих чинників з боку міського електротранспорту (тролейбус, трамвай) складає: рівень гучності звуку за шкалою корекції «А» становить 86–84 дБА, рівень за шкалою «Lin» – 99–104 дБ. Не зареєстровано суттєвих рівнів інфразвуку з боку пасажирського залізничного транспорту. При цьому вантажні потяги давали рівень інфразвуку за шкалою «Lin» – 86–90 дБ.

Досліджено динаміку концентрації аероіонів за різних кліматичних умов (таблиця 21).

Таблиця 21

Динаміка концентрацій аероіонів у зовнішньому повітрі за різних умов при мінімальному впливі техногенних факторів

№ п/п	Умови вимірювань	Концентрації аероіонів	
		$n^-, \text{см}^{-3}$	$n^+, \text{см}^{-3}$
1	Ранок, +20 – +22 °С, вологість 60 – 62 %, безвітряно	600 – 700	750 – 850
2	День, +24 – +25 °С, вологість 40 – 45 %, безвітряно	550 – 650	550 – 600
3	Вечір, +22 – +23 °С, вологість 50 – 55 %, безвітряно	600 – 650	700 – 750
4	Ранок, -4 – -5 °С, вологість 35 – 40 %, безвітряно	200 – 300	300 – 350
5	День, +1 – +2 °С, вологість 60 – 65 %, безвітряно	300 – 400	350 – 450
6	Вечір, -1 – -2 °С, вологість 50 – 55 %, безвітряно	300 – 400	350 – 400

Зовнішнім впливом на концентрації аероіонів у приміщеннях можна вважати і зміни складу повітря у процесі його переміщення у виробниче середовище. Було досліджено зміни концентрацій аероіонів у системи примусової вентиляції. Зокрема було досліджено зміни концентрацій аероіонів у стандартній системі припливно-витяжної вентиляції довжиною 16 м. Швидкість повітря у повітропроводі становила $v=2,6-2,8$ м/с. Система працювала в літньому режимі, без обігрівача. Дослідження проводилися за температури $t=22^\circ\text{C}$ при відносній вологості 65%. Повітропроводи виконані з оцинкованого заліза, що відповідає чинним державним будівельним нормам. Зміни концентрацій аероіонів наведено у таблиці 22.

Таблиця 22

Зміна концентрації аероіонів в системі припливно-витяжної вентиляції

№ п/п	Місце проведення вимірювань	Концентрації аероіонів	
		негативних $n^-, \text{см}^{-3}$	позитивних $n^+, \text{см}^{-3}$
1	Вхід до повітропроводу припливно-витяжної вентиляції	730	1700
2	Вихід з повітропроводу припливно-витяжної вентиляції	230	340

Як видно з отриманих даних в оцинкованих повітропроводах відбувається значна деіонізація повітря.

З метою уточнення даних було проведено дослідження змін концентрацій аероіонів у лабораторних умовах, таблиця 23. Умови проведення експерименту – температура $t=24^\circ\text{C}$, відносна вологість 50%. Були виготовлені три зразки повітропроводів, кожен довжиною 1,65 м, з оцинкованого залізу, картону та деревини.

Отримані дані свідчать, що деіонізація відсутня тільки у повітропроводі, виготовленому із сухої деревини. Це можна пояснити відсутністю електризації поверхні деревини. У той же час значна електризація притаманна паперовій поверхні внаслідок трибоелектричного ефекту при прокачуванні через повітропровід сухого повітря. Тобто деіонізація у реальних металевих коробах відбувається через наявність електричних взаємодій поверхні повітропроводу та аероіонів.

Таблиця 23

Зміна концентрації аероіонів у повітропроводах, виготовлених з різних матеріалів, в лабораторних умовах

№ п/п	Місце проведення вимірювань	Концентрації аероіонів	
		негативних n^- , см^{-3}	позитивних n^+ , см^{-3}
1	Вхід до повітропроводу, виготовленого з оцинкованого заліза	320	600
2	Вихід з повітропроводу, виготовленого з оцинкованого заліза	190	280
3	Вхід до повітропроводу, виготовленого з картону	310	580
4	Вихід з повітропроводу, виготовленого з картону	230	360
5	Вхід до повітропроводу, виготовленого з дерева	710	890
6	Вихід з повітропроводу, виготовленого з дерева	680	880

Було розроблено порядок проектування та впровадження заходів і засобів нормалізації рівнів фізичних факторів у приміщеннях закладів вищої освіти.

Для врахування усіх можливих факторів впливу на кількісні значення і динаміку фізичних чинників виробничого середовища реалізації заходів з їх моніторингу, нормалізації та підтримання на нормативному рівні доцільно здійснювати за певним алгоритмом, який схематично наведений на рисунку 19.

Наведений порядок виконання операцій загальний. На кожному етапі, виходячи з реальних умов і обстановки, можуть виникнути певні ситуації або чинники, які потребують врахування.

Оптимізація заходів безпеки не завжди можлива і доцільна, а розв'язання задачі оптимізації – складне і вимагає великих обсягів обчислень та експериментальних робіт. Тому у процесі організації та проведення робіт слід визначати пріоритети у впровадженні засобів захисту.

Визначено напрями удосконалення державних нормативно-правових актів з охорони праці та безпеки фізичних чинників. Головними з них є внесення змін до Закону України «Про охорону праці» у вигляді Закону «Про безпеку та здоров'я працівників», що наблизить його до вимог Європейського Союзу та Міжнародної організації праці.

Проведені дослідження свідчать, що потребують удосконалення Державні будівельні норми України «ДБН В.2.2-3:2018 Будинки і споруди. Заклади освіти». Головними напрямами їх вдосконалення є вилучення посилань на Санітарні норми і правила, які втратили чинність. Заміна їх на сучасні нормативи, у тому числі міжнародні, у частинах, які стосуються якості середовища, проектування електрообладнання та інших інженерних мереж.

Результати дисертаційних досліджень були використані при розробці нормативного документу «Мінімальні вимоги до охорони здоров'я та безпеки працівників, які піддаються впливу електромагнітних полів», затверджених Наказом Міністерства охорони здоров'я України 13 січня 2023 року № 81 [317]. Робота проведена в плані впровадження вимог Європейських директив 2002/44/ЕС, 2003/10/ЕС та 2013/35/EU у вітчизняне санітарне законодавство, де дисертантка є співвиконавцем.



Рисунок 19. Схема реалізації організаційно-технічних заходів моніторингу та нормалізації фізичних чинників на нормативному рівні

Також результати досліджень були втілені у методичні рекомендації «Застосування бактерицидних ультрафіолетових монохромних LED опромінювачів для знезараження повітря та поверхонь у приміщеннях», затверджених Національною академією медичних наук (НАМН) України від 14 листопада 2023 року, рекомендованих Державною установою «Інститут медицини праці ім. Ю. І. Кундієва НАМН України» (протокол № 11 від 26 жовтня 2023 року).

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз досліджень і прикладних розробок в області моніторингу та нормалізації фізичних факторів виробничого середовища дозволив дійти висновку, що дослідженню і розробленню заходів безпеки щодо чинників, які не сприймаються органами чуттів людини приділяється недостатньо уваги. Особливо це стосується закладів вищої освіти з великою щільністю розташування і різноманітністю навчального та допоміжного обладнання в навчальних аудиторіях, лабораторіях, кімнатах, майстернях. Потребує розроблення система моніторингу та нормалізації рівнів електромагнітних полів широкого частотного діапазону, низькочастотного звуку та інфразвуку, концентрації аероіонів обох полярностей.

2. Напруженості електромагнітних полів промислової частоти вимірюються з урахуванням наявності гармонік поля. Високочастотні поля вимірюються з урахуванням діаграм спрямованості. Критерій наявності і суттєвості рівнів інфразвуку оцінюється за різницею показів шумоміру за шкалами «Lin» і шкалою корекції «А». Вимірювання концентрації аероіонів доцільно здійснювати серіями по 24 вимірювання в кожній, упродовж тривалого часу, з огляду на складну динаміку концентрації аероіонів у атмосферному повітрі і залежності концентрації іонів від кліматичних умов та часу доби, за наявності у приміщенні різних чинників іонізації/деіонізації повітря.

3. Виміряні значення електромагнітних полів у навчальних приміщеннях не перевищують граничні значення для виробничих умов. Але існує протиріччя між кількома чинними нормативами. Зокрема згідно тимчасових норм значень індукції магнітного поля промислової частоти, ця величина складає 0,5 мкТл. Таке значення відповідає нормам більшості європейських країн. У цьому випадку в навчальних приміщеннях має місце перевищення гранично допустимого рівня електромагнітних полів, принаймні за магнітною складовою. Причиною перевищення значень характеристик електромагнітних полів, зокрема магнітної складової, є як застосування застарілих систем організації заземлення (TN-C), так і наявність електрострумів витоку. Струми витоку на металеві заземлені конструкції та у кабельних лініях генерують відповідно 10 та 45 % магнітних полів у приміщеннях. Значний внесок в електромагнітну обстановку дають незбалансовані струми у нульовому робочому провіднику трифазної силової мережі. Частота таких полів 150 Гц та інші частоти, кратні трьом, відносно промислової частоти. Значення рівнів параметрів електромагнітних полів ультрависоких частот не перевищує гранично допустимого рівня (100 мкВт/см^2), але у багатьох випадках зовнішній сигнал нижче $0,2 \text{ мкВт/см}^2$, що викликає підвищення власних випромінювань засобів мобільного зв'язку до $150\text{--}200 \text{ мкВт/см}^2$.

4. У більшості навчальних приміщень, де експлуатуються стаціонарні та переносні персональні комп'ютери, спостерігається перевищення гранично допустимих рівнів електричних та магнітних полів у контрольованих смугах частот (5–2000 Гц і 2–400 кГц). Головними джерелами перевищення є джерела безперебійного живлення (до 2200 нТл при нормі 250 нТл) та люмінесцентні системи освітлення (до 2300 нТл для діапазону 5–2000 Гц). Магнітні поля системних блоків комп'ютерів потужністю 850 Вт і вище перебувають на межі гранично допустимих рівнів – 180–245 нТл.

5. Дослідження комплексу фізичних факторів на тренажерному обладнанні для навчання студентів спеціальностей, для яких висувуються особливі вимоги до стану здоров'я, свідчать, що на робочих місцях морських тренажерів, тренажерів гелікоптерів має місце перевищення гранично допустимих рівнів електромагнітних полів на 25–70 %. При цьому рівні полів перевищують значення для робочих місць у реальних умовах експлуатації транспортних засобів. Джерелом перевищення є обладнання забезпечення роботи тренажерів. Застосування магнітних екранів на морських тренажерах дозволило знизити рівні магнітного поля удвічі. Аналогічних результатів досягнуто на тренажерах гелікоптерів. Рівні інфразвуку на морських тренажерах не суттєві, а на тренажерах гелікоптера вони дуже високі (різниця між значеннями за шкалою «Lin» і шкалою корекції «A» становить 23 дБА). На усьому тренажерному обладнанні концентрації аероіонів обох полярностей перебували на межі або нижче мінімально допустимих значень.

6. Значення рівнів інфразвуку та низькочастотного звуку у спеціалізованих навчальних лабораторіях або несуттєві, або різняться на мінімальне значення за рівними значеннями (до 20 дБ). Зафіксовані непередбачувані періодичні значення інфразвуку рівнів 75–95 дБ. Імовірно це пов'язано із зовнішніми впливами. Показано, що персональним комп'ютерам притаманний шум у низькочастотній частині спектру. При цьому рівні інфразвуку у комп'ютеризованих приміщеннях складають до 92 дБ, різниця показників – 34 дБ. Було розроблено загальні засади і випробувано 2 класи захисних матеріалів. Для захисту від впливу електромагнітних полів широкого частотного діапазону було розроблено захисні композиції на основі фарб і полімерів. Рідкі композиції мають коефіцієнти екранування у низькочастотному діапазоні до 7,8 по магнітному полю, а в діапазоні ультрависоких частот до 5,6. Враховуючи необхідність одночасного екранування електромагнітного та акустичного полів розроблено спеціальний математичний апарат для розрахунку захисних конструкцій. Захист від впливу низькочастотного звуку та інфразвуку забезпечується за рахунок резонансного поглинання електромагнітної енергії. Наявність перфорацій робить конструкцію ширококутовою за рахунок зниження добротності коливальної системи. Тестування експериментальної конструкції свідчить про можливість зниження значень інфразвуку та низькочастотного звуку на 20–30 дБ. Суцільні конструкції на основі пінолатексу в області низьких частот забезпечують індекс зниження шуму 8–28 дБ в усьому звуковому діапазоні.

7. Навчальним приміщенням загального призначення притаманна деіонізація повітря. Коливання концентрацій аероіонів у приміщеннях упродовж навчального часу свідчить, що головним чинником деіонізації є дрібнодисперсний пил. У комп'ютерних класах головним чинником деіонізації є компоненти персональних комп'ютерів та електризація поверхонь внаслідок трибоелектричного ефекту. Іонізацію повітря у навчальних приміщеннях доцільно здійснювати з використанням світлодіодних систем ультрафіолетового випромінювання. Показано, що іонізація починається одразу по усьому об'єму повітря приміщення, що особливо важливо для навчальних аудиторій. Встановлено, що сумарна доза ультрафіолетового випромінювання упродовж 8 годин нижче за гранично допустиме значення для людей (30 Дж/м^2) на відстані 2 м від джерела. Під впливом ультрафіолетового

випромінювання концентрації позитивних іонів підвищувалися зі 140-180 см⁻³ до 1290-1460 см⁻³, негативних аероіонів зі 160-190 см⁻³ до 1260-1430 см⁻³.

8. В аудиторіях закладів вищої освіти на поверхнях столів, за якими навчаються студенти, виявляється мікробне забруднення від «легкого» (до 20 КУО/дм²) до «аномального» (> 100 КУО/дм²) ступеню за критеріями керівництва з біологічного оцінювання будівель SBM 2015. Використання бактерицидних світильників типу LED UVC T5-5W-275NM відкритого типу в присутності людей приводить до зменшення мікробного забруднення поверхонь в усіх місцях досліджень майже у 3 рази. Комбіноване одночасне використання UV LED світильників і рециркуляторів повітря, дозволяє знизити кількість колоній утворюючих одиниць (КУО) пліснявих грибів у приміщенні до 20 разів.

9. Моделювання поширення електричної та магнітної складових електромагнітного поля компонентів персонального комп'ютера надає можливість раціоналізувати чи оптимізувати розміщення комп'ютерної техніки у приміщеннях з точки зору електромагнітної безпеки. Проведено моделювання магнітного поля навколо електричних машин змінного струму у площині перебування людей. Це дозволяє визначити зони безпечного перебування людей та визначити раціональне взаємне розміщення обладнання в приміщенні. Верифікація результатів моделювання методом натурних вимірювань навколо реальної електричної машини довели адекватність отриманої моделі.

10. Моделювання поширення іонів здійснювалося для умов наявності у приміщенні джерел іонізації/деіонізації повітря та припливно-витяжної вентиляції. При розробленні моделі враховувалися процеси рекомбінації аероіонів, наявність у повітрі пилу та аерозолів, а також електричного поля і спрямованого руху повітря. При розробленні моделі застосовувалося співвідношення перенесення. Застосування цього співвідношення замість рівняння Нав'є-Стокса значно прискорює процес обчислень і обирає прийнятний результат моделювання. Отримані моделі враховують вплив на розподіл концентрації аероіонів перешкод у вигляді меблів та обладнання. Це дозволяє обрати розміщення робочих місць з нормативними значеннями концентрацій аероіонів.

11. Розрахункове проектування електромагнітних екранів та облицювальних будівельних матеріалів з екрануючими властивостями здійснювалося, виходячи із фундаментальних співвідношень електродинаміки суцільних середовищ та виходячи із встановленого факту різкого підвищення ефективності екранування при досяганні перколяційного ефекту (різкого зростання провідності композиційного матеріалу). Порівняння отриманих моделей з результатами експериментів довели їх прийнятну збіжність. Це надає можливість проектувати захисні облицювальні будівельні матеріали та композиційні металополімерні матеріали із заданими коефіцієнтами екранування.

12. Визначені найбільш критичні джерела зовнішнього впливу на кількісні значення фізичних факторів у приміщеннях. Це дозволені для використання у містах повітряні та кабельні лінії електропередачі напругами 220 і 110 кВ та трансформаторні підстанції, а також джерела високочастотних випромінювань бездротового зв'язку. Отримані кількісні дані і моделі поширення електромагнітних полів від цих джерел надають можливість визначити або прогнозувати

електромагнітну обстановку в приміщеннях. Найбільш критичним зовнішнім джерелом інфразвуку та низькочастотного звуку є автомобільні транспортні потоки. Рівень інфразвуку за лінійною шкалою складає до 105 дБ, а за шкалою корекції «А» – до 75 дБ. При цьому найбільші амплітуди притаманні частотам 10–20 Гц. Еквівалентні значення інфразвуку та низькочастотного звуку (до 250 Гц) складають до 80 дБА. Найбільш динамічним чинником зовнішнього впливу на рівні фізичних факторів є іонізація зовнішнього атмосферного повітря. Показано, що іонізація залежить не тільки від вологості повітря та наявності пилу у повітрі, а й часу доби. В одному й тому ж місці концентрації іонів у повітрі можуть змінюватися для негативних іонів від 600–700 см⁻³ до 200–300 см⁻³, а позитивних від 750–850 см⁻³ до 300–350 см⁻³.

13. Значна деіонізація повітря відбувається у стандартних системах припливно-втяжної вентиляції. У реальній системі вентиляції з оцинкованого заліза довжиною 16 м концентрації негативних аероіонів знижуються для негативних іонів від 730 см⁻³ до 230 см⁻³, а позитивних від 1700 см⁻³ до 340 см⁻³. Отримані результати було перевірено у лабораторних умовах. Встановлено, що деіонізація відбувається в оцинкованому повітропроводі, який є найбільш поширеним. Порівняння результатів з отриманими для картонного повітропроводу (значна деіонізація) і повітропроводу з сухої деревини (відсутність деіонізації), дозволило дійти висновку, що процеси деіонізації відбуваються за рахунок електростатичних взаємодій. Наведене обумовлює необхідність внесення корективів у чинні Державні будівельні норми у частині проектування систем примусової вентиляції приміщень ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування".

14. Процедуру моніторингу та нормалізації фізичних факторів у навчальних приміщеннях доцільно здійснювати за певним алгоритмом, який передбачає моніторинг кількісних значень фізичних чинників у приміщеннях, за межами будівель, ідентифікацію джерел ненормативних значень фізичних чинників тощо. Такий порядок зменшує час розроблення і впровадження необхідних заходів безпеки та дозволяє врахувати усі фактори впливу і необхідні ступені зниження негативного впливу на людей. При цьому слід враховувати певні відмінності відхилень кількісних значень фізичних чинників у різних приміщеннях та будівлях. Розроблення та впровадження заходів безпеки доцільно здійснювати за принципом пріоритетності, виходячи з даних щодо відхилення значень різних фізичних чинників від нормативних показників.

15. Визначені напрями удосконалення державних нормативно-правових актів з охорони праці та безпеки фізичних чинників. Потребує змін Закон України про охорону праці у відповідності із сучасними вимогами Євросоюзу та Міжнародної організації праці. Проведені дослідження свідчать, що потребують удосконалення Державні будівельні норми України «ДБН В.2.2-3:2018 Будинки і споруди. Заклади освіти». Ці будівельні норми містять численні посилання на нормативи, які втратили чинність в Україні або не відповідають вимогам загальноєвропейських нормативів, які набули чинності в Україні. Фактичні невідповідності у цьому документі стосуються усіх фізичних чинників виробничого середовища.

16. Результати досліджень були використані при розробці нормативного документу «Мінімальні вимоги до охорони здоров'я та безпеки працівників, які піддаються впливу електромагнітних полів», затверджених Наказом Міністерства охорони здоров'я України 13 січня 2023 року № 81. Робота проведена у відповідності із планом впровадження вимог Європейських директив 2002/44/ЕС, 2003/10/ЕС та 2013/35/EU у національне законодавство, де дисертантка була співвиконавцем, а також при розробці Методичних рекомендацій «Застосування бактерицидних ультрафіолетових монохромних LED опромінювачів для знезараження повітря та поверхонь у приміщеннях», затверджених Національною академією медичних наук (НАМН) України. Результати дослідження також впроваджені у навчальний процес Київського національного університету будівництва і архітектури та Національного авіаційного університету.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Статті у наукових виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз Scopus i Web of Science

1. Glyva, V., Kasatkina, N., Nazarenko, V., Burdeina, N., Karaieva, N., Levchenko, L., Panova, O., Tykhenko, O., Khalmuradov, B., Khodakovskyy, O. Development and study of protective properties of the composite materials for shielding the electromagnetic fields of a wide frequency range. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, 2(12-104), pp. 40–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201330> (*Scopus*, Q3).

2. Glyva, V., Bakharev, V., Kasatkina, N., Levchenko, O., Levchenko, L., Burdeina, N., Guzii, S., Panova, O., Tykhenko, O., Biruk, Y. Design of liquid composite materials for shielding electromagnetic fields. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, 3(6-111), pp. 25–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231479> (*Scopus*, Q3).

3. Glyva V., Kasatkina N., Levchenko L., Tykhenko O., Nazarenko V., Burdeina N., Panova O., Bahrii M., Nikolaiev K., Biruk Y. Determining the dynamics of electromagnetic fields, air ionization, low-frequency sound and their normalization in premises for computer equipment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022, 3(10-117), pp. 47–55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258939> (*Scopus*, Q3).

4. Nehrii S., Nehrii T., Zolotarova O., Glyva V., Surzhenko A., Tykhenko O., Burdeina N. Determining Priority of Risk Factors in Technological Zones of Longwalls. *Journal of Mining and Environment*, 2022, 13(3), pp. 751-765. <https://doi.org/10.22044/jme.2022.12142.2216> (*Scopus*).

5. Levchenko L., Ausheva N., Burdeina N., Aznaurian I., Biruk Y., Kasatkina N., Matvieieva I., Nazarenko V., Nikolaiev K., Tykhenko O. Development of Models of the Electromagnetic Environment in Buildings and Urbanized Areas. *Eastern-European*

Journal of Enterprise Technologies, 2022, 6 (10-120), pp. 35–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268439> (*Scopus*, Q3).

6. Glyva, V., Nazarenko, V., Burdeina, N., Leonov, Y., Kasatkina, N., Levchenko, L., Tykhenko, O., Krasnianskyi, G., Petrunok, T., Biruk, Y. (2023). Determining the efficiency of using led sources of ultraviolet radiation for ionization and disinfection of room air. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (123)), 23–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.282784> (*Scopus*, Q3).

7. Levchenko, L., Burdeina, N., Glyva, V., Kasatkina, N., Biliaiev, M., Biliaieva, V., Tykhenko, O., Petrunok, T., Biruk, Y., Bogatov, O. (2023). Identifying regularities in the propagation of air ions in rooms with artificial air ionization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(10(124)), pp. 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285967> (*Scopus*, Q3).

8. V. Glyva, O. Zaporozhets, L. Levchenko, N. Burdeina, V. Nazarenko. Methodological Foundations Protective Structures Development For Shielding Electromagnetic And Acoustic Fields. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2023. Issue No. 110. PP. 245-255. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.245-255> (*Web of Science*).

9. Levchenko, L., Ausheva, N., Karaieva, N., Glyva, V., & Burdeina, N. (2024). MODELING OF THE EXTERNAL MAGNETIC FIELD OF ELECTRIC MACHINES. *Advanced Information Systems*, 8(1), 24–30. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.1.03> (*Scopus*).

10. G. Krasnianskyi, V. Glyva, N. Burdeina, Y. Biruk, L. Levchenko, O. Tykhenko. Methodology For Designing Facing Building Materials with Electromagnetic Radiation Shielding Functions. *International Journal of Conservation Science*. Volume 15, Special Issue 1, 2024. Pp. 53-62. <https://doi.org/10.36868/IJCS.2024.si.05> (*Scopus*, Q1, *Web of Science*).

11. Tykhenko, O., Glyva, V., Levchenko, L., Burdeina, N., Biruk, Y., Zozulya, S., Krasnianskyi, G., Nikolaiev, K., Aznaurian, I., Zozulya, L. (2024). Study of air deionization factors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (128)), 26–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300909> (*Scopus*, Q3).

Статті у наукових фахових виданнях України

12. Сапельнікова О.Ю., Карачевцева Л.А., Панова О.В., Бурдейна Н.Б. Визначення напруженості локального електричного поля в окислених структурах макропористого кремнію з наночастинками ZnO та CdS на границі «Si – SiO₂». *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. Київ. 2020. №3 (83). Том 1. С. 68-75.

13. Панова О.В., Бурдейна Н.Б., Ніколаєв К.Д., Бірук Я.І. Планування та впровадження заходів з електромагнітної безпеки у промислових будівлях та спорудах. *Науково-технічний журнал «Вісті донецького гірничого інституту»*. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Покровськ. 2020. №2 (47). С. 155-161. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-2-155-161>.

14. Бурдейна Н.Б., Бірук Я.І. Засоби підвищення ефективності рідинних матеріалів для екранування електромагнітних полів широкого частотного діапазону.

Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтава. 2022. Т. 4 (70). С. 138-141. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.4.138>.

15. Бурдейна Н.Б. Дослідження аероіонного режиму повітря навчальних приміщень та визначення засобів його нормалізації. *Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник*. Київ. 2022. Вип. 80. С. 48-58. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.80.48-58>.

16. Левченко Л.О., Глива В.А., Бурдейна Н.Б. Автоматизація проектування навчальних приміщень з безпечними умовами праці. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 50. С. 60-67. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.50.60-67>.

17. 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. №2. С. 99-101. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.099>.

18. Nazarenko V.I., Cherednichenko I.M., Leonov Yu.I., Pochta V.N., Shevchenko A.V., Burdeina N.B., Yarygin A.V. The hygienic principles of using bactericidal ultraviolet monochrome led irradiators of the open type for premises air disinfecting. *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2022. Vol. 18, № 3. P. 216–223. <https://doi.org/10.33573/ujoh2022.03.216-223>.

19. Levchenko L., Glyva V., Burdeina N. Mathematical apparatus for modelling of the propagation the magnetic field electric machines with a given accuracy. *Сучасні інформаційні системи*. 2022. № 2. Т. 6. С. 5-9. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2022.2.01>.

20. Ченчева О.О., Бурдейна Н.Б., Лашко Є.Є., Шевченко В.Г., Петренко І.С. (2022). Вплив пилоутворення при механічному обробленні карбон-карбонових композитів на ризик виникнення професійних захворювань. *Проблеми охорони праці в Україні*. 38(3–4), 25–33. <https://doi.org/10.36804/nndipbor.38.1-2.2022.25-33>.

21. Бурдейна Н.Б. Актуальні напрями удосконалення державних будівельних норм проектування нових і реконструкції існуючих закладів освіти. *Містобудування та територіальне планування*. Київ. 2023. Вип. 82. С. 43-52. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.82.43-52>.

22. Nazarenko V.I., Leonov Yu.I., Glyva V.A. Burdeina N.B., Cherednichenko I.M., Pochta V.N., Holubeva A.O. The influence of UV-LED lamps radiation on indicators of microflora in university auditoriums. *Ukrainian journal of occupational health*. 2023. Vol. 19. № 1. P. 42-50. <https://doi.org/10.33573/ujoh2023.01.042>.

23. Бурдейна Н.Б., Бірук Я.І., Ніколаєв К.Д. (2023). Розроблення матеріалів багатошарової структури градієнтного типу на основі рідких композицій для екранування електромагнітних полів. *Екологічна безпека та природокористування*. 45 (1). С. 68–75. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.1.68-75>.

24. Ткаченко Т.М., Бурдейна Н.Б., Ченчева О.О. Екранування електромагнітних полів та шуму у будівлях і спорудах. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. – Полтава: ПНТУ, 2023. Т 2(72) – С. 186-189. – doi:10.26906/SUNZ.2023.2.186.

25. Бурдейна Н.Б. Дослідження рівнів інфразвуку у навчальних приміщеннях та визначення умов їх нормалізації. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць.* – Полтава: ПНТУ, 2024. № 1. С. 165-169. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.1.165>.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

26. Zaporozhets O., Levchenko L., Glyva V., Burdeina N. Environment Impact Assessment for New Wind Farm Developments in Ukraine. *2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2022 - Proceedings*, National Technical University of Ukraine „Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” Kyiv, Ukraine, October 12-14, 2022, pp. 386–389. <https://doi.org/10.1109/ESS57819.2022.9969323> (Scopus).

27. Глива В.А., Бурдейна Н.Б., Зозуля С.В. Моніторинг і нормалізація аероіонного складу повітря службових приміщень аеропортів. *Матеріали X Всесвітнього конгресу "Авіація у XXI столітті" – "Безпека в авіації та космічні технології"*, 28-30 верес. 2022 р. Національний авіаційний університет. Київ. 2022. 4.1.30-4.1.34. URL: <https://conference.nau.edu.ua/index.php/Congress/Congress2022/paper/viewFile/8642/7265> (дата звернення: 13.06.2023).

28. Levchenko L., Ausheva N., Karaeva N., Glyva V., Burdeina N. Calculation apparatus for modeling radio engineering and electrical engineering objects. *AVIATION IN THE XXI-st CENTURY 2022. September 28, 2022 – September 30, 2022. National Aviation University.* Kyiv. P. 4.2.6-4.2.10. URL: <https://conference.nau.edu.ua/index.php/Congress/Congress2022/paper/viewFile/8525/7280> (дата звернення: 13.06.2023).

29. Tykhenko O., Burdeina N., Zozulya S. DETERMINATION OF THE PATTERNS OF THE CLIMATE PARAMETERS EFFECT ON THE INDOOR AIR QUALITY. *The 9th International scientific and practical conference “Eurasian scientific discussions” (September 25-27, 2022).* Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2022. P. 65-70. URL: <https://sci-conf.com.ua/ix-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-eurasian-scientific-discussions-25-27-09-2022-barselona-ispaniya-arhiv/> (дата звернення: 13.06.2023).

30. Бурдейна Н.Б., Бірук Я.І. Методичні засади автоматизації проектування рідких композиційних матеріалів для екранування електромагнітних полів. *Проблеми інформатизації: десята міжнародна науково-технічна конференція*, 24 – 25 листоп. 2022 р. Том 1. Київ, 2022. С. 102. <https://doi.org/10.32620/PI.22.t1>.

31. Бурдейна Н. Б., Бірук Я. І. Використання рідких композиційних матеріалів для екранування електромагнітних полів промислової частоти, дуже високих та ультрависоких частот. *Екологія. Ресурси. Енергія: тези доп. міжнар. наук.-прак. конференції*, м. Київ, 23-25 листоп. 2022 р. Київ, 2022. С. 82–83.

32. Бурдейна Н.Б., Бірук Я.І. Екранування електромагнітних полів екологічно чистими багаточаровими рідкими композиційними матеріалами градієнтного типу. *II Міжнародна науково-практична конференція «Green Construction»*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ 13-14 квіт. 2023 р. Київ, 2023. С. 411-414.

33. Глива В., Назаренко І., Бурдейна Н., Леонов Ю. Засоби знезараження, іонізації та очищення повітря у сховищах цивільного захисту. *Будівлі та споруди спеціального призначення: матеріали та конструкції: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Київ 26-27 квіт. 2023 р. Київ, 2023. С. 35-36.

34. Glyva V., Levchenko L., Burdeina N., Biruk Ya., Tykhenko O. Composite Gradient Coatings Design for Ensuring Electromagnetic Compatibility of on-board and Ground Electronic Equipment. *International Symposium on Electric Aviation & Autonomous Systems (ISEAS 23)*. Warsaw University of Technology & Air Force Institute of Technology. 5th-7th July, 2023. Warsaw-Poland. P. 33 https://2023.iseasci.org/wp-content/uploads/2023/07/ISEAS23-Abstract-Book_230701.pdf.
<https://2023.iseasci.org/about-iseas/>

35. Бурдейна Н.Б., Бірук Я.І. Способи раціоналізації ефективності композиційних матеріалів для екранування електромагнітних полів. *Екологія. Ресурси. Енергія: тези доп. міжнар. наук.-прак. конференції*, м. Київ, 22-24 листопада 2023 р. Київ, 2023. с. 113-114. https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2023/11/jere_2023_program_tezy.pdf.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

Патенти

36. Комплект для екранування електромагнітного поля: пат. 149053 Україна: МПК 2021.01. G12B 17/00. B82Y 25/00. № 202102555; заявл. 17.05.2021; опубл. 13.10.2021, Бюл. № 41. 4 с.

37. Спосіб виготовлення електромагнітного екрана з градієнтом електрофізичних властивостей: пат. 149126, Україна: МПК 2021.01. G12B 17/00, G12B 17/02. № 202102561; заявл. 17.05.2021; опубл. 20.10.2021, Бюл. № 42. 4 с.

38. Спосіб виготовлення текстильного матеріалу для екранування електромагнітного поля: пат. 149114, Україна: МПК 2021.01, G12B 17/00. B82Y 30/00. № 202101677; заявл. 31.03.2021; опубл. 20.10.2021, Бюл. № 42. 4 с.

39. Спосіб виготовлення композиційного матеріалу для екранування іонізуючих та неіонізуючих електромагнітних випромінювань: пат. 147191, Україна: МПК (2020.01), G12B 17/00 (2006.01), H05K 9/00. № 202006476; заявл. 07.10.2020; опубл. 22.04.2021, Бюл. № 16. 4 с.

40. Спосіб виготовлення градієнтного композиційного електромагнітного екрана: пат. 153982, Україна: МПК 2023.01, G12B17/00 G12B17/02 (2006.01). № 202300789; заявл. 28.02.2023; опубл. 27.09.2023, Бюл. № 39. 4 с.

41. Низькочастотний акустичний екран: пат. 154373, Україна: МПК E04B 1/82 (2006.01), E04C 2/36 (2006.01). № 2023 02024; заявл. 28.04.2023; опубл. 09.11.2023, Бюл. № 45. 4 с.

АНОТАЦІЯ

Бурдейна Н.Б. Наукові засади моніторингу та нормалізації рівнів фізичних факторів у закладах вищої освіти. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – Охорона праці (26 – Цивільна безпека). Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2024.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної проблеми нормалізації рівнів електромагнітних полів, низькочастотного звуку та інфразвуку, іонізації повітря у приміщеннях закладів вищої освіти.

Показано, що контролю та нормалізації рівнів фізичних факторів у приміщеннях закладів вищої освіти майже не приділяється уваги, особливо це стосується факторів, які не сприймаються органами чуттів людини.

Було проведено натурні вимірювання рівнів електромагнітних полів широкого частотного діапазону, значень інфразвуку та низькочастотного звуку приміщень різного призначення, а також концентрацій аероіонів. Встановлено перевищення граничнодопустимих значень напруженостей електромагнітних полів при експлуатації комп'ютерної техніки, а також на тренажерному обладнанні підготовки моряків і пілотів. Встановлено практично повну деіонізацію повітря в навчальних приміщеннях упродовж дня. Визначено чинники, які викликають ненормативні значення фізичних факторів середовища.

Розроблено систему заходів і засобів нормалізації рівнів фізичних факторів. Розроблено засади вироблення і застосування інноваційних композиційних матеріалів для екранування електромагнітних полів широкого частотного діапазону. Розроблено засади проектування резонансних панелей та полімерних матеріалів для нормалізації рівнів низькочастотного звуку та інфразвуку. Запропоновано застосування світлодіодних систем ультрафіолетового випромінювання для іонізації та дебактеризації повітря і поверхонь приміщень. Визначено кількісні дані щодо підвищення концентрації аероіонів і зниження кількості колоній грибів і бактерій. Запропоновано застосування таких систем у місцях скупчення людей, наприклад, сховищах цивільного захисту.

Проведено моделювання поширення електромагнітних полів найбільш поширених джерел та аероіонів з метою проектування приміщень, безпечних за фізичними факторами.

Визначено порядок розроблення та впровадження заходів і засобів нормалізації рівнів фізичних факторів у приміщеннях закладів вищої освіти. Надано обґрунтовані рекомендації щодо вдосконалення чинної нормативно-правової бази у частині безпеки фізичних факторів.

Представлені результати впровадження досліджень у вигляді національних нормативних актів.

Ключові слова: навчальні приміщення, електромагнітне поле, концентрації аероіонів, іонізація та деіонізація повітря, низькочастотний звук, інфразвук.

ABSTRACT

Burdeina N.B. Scientific principles of monitoring and normalization of levels of physical factors in institutions of higher education. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.26.01 – Labor protection (26 – Civil safety). Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2024.

The dissertation is devoted to solving the scientific and practical problem of normalizing the levels of electromagnetic fields, low-frequency sound and infrasound, air ionization in the premises of institutions of higher education.

It is shown that almost no attention is paid to the control and normalization of the levels of physical factors in the premises of institutions of higher education, especially the factors that are not perceived by human senses.

On-site measurements of the levels of electromagnetic fields of a wide frequency range of infrasound and low-frequency sound values of premises of various purposes, as well as concentrations of aeroions, were carried out. Exceeding the maximum allowable values of electromagnetic field intensities was established during the operation of computer equipment, as well as on training equipment for training sailors and pilots. Almost complete deionization of the air in the educational premises during the day was established. Factors that cause non-normative values of physical factors of the environment are determined. Such factors are electromagnetic fields generated by power supply systems, system units of personal computers, uninterruptible power sources, etc. Low-frequency sound and infrasound are generated by low-speed equipment and traffic flows. Deionization of air occurs due to suspended particles in the air of rooms, electrification of surfaces and in channels of forced ventilation.

A system of measures and means of normalizing the levels of physical factors has been developed. The principles of production and application of innovative composite materials for shielding electromagnetic fields of a wide frequency range have been developed. The principles of designing resonant panels and polymer materials for normalizing the level of low-frequency sound and infrasound have been developed. The use of LED systems of ultraviolet radiation for ionization and debacterization of air and indoor surfaces is proposed. Quantitative data on the increase in the concentration of aeroions and the decrease in the number of colonies of fungi and bacteria were determined. It is proposed to use such systems in places of crowding, for example, in civil defense storage facilities.

Modeling of the propagation of electromagnetic fields of the most common sources and aeroions was carried out in order to design premises that are safe in terms of physical factors. The developed mathematical apparatus for modeling and the developed software allow to optimize the placement of technical means in premises and workplaces from the point of view of electromagnetic safety and regulatory values of aeroion concentrations.

The procedure for the development and implementation of measures and means of normalizing the levels of physical factors in the premises of institutions of higher education has been determined. Substantial recommendations are provided for improving the current regulatory framework in terms of physical factor safety, taking into account the requirements of the International Labor Organization and the World Health Organization and current international regulations on physical factor safety.

The results of the implementation of research in the form of national regulations are presented – Minimum requirements for the levels of electromagnetic fields in production conditions and Methodological recommendations for the use of LED sources of ultraviolet radiation for disinfection of air and surfaces in premises.

Key words: educational premises, electromagnetic field, aeroion concentrations, air ionization and deionization, low-frequency sound, infrasound.