

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускної кафедри  
\_\_\_\_\_ В.Ф. Фролов  
" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 101 «ЕКОЛОГІЯ»

**Тема: «Організаційно-технічні заходи захисту населення від  
електромагнітних впливів»**

Виконавець: студентка групи 211М ЦЗ Дегтярьова Яна Сергіївна

Керівник: д.т.н., професор Глива Валентин Анатолійович

Консультант з розділу "Охорона праці": \_\_\_\_\_ Павлиш В.Д.

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Павлиш В.Д.

КИЇВ 2020

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра Екології

Спеціальність: 101 «ЕКОЛОГІЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.Ф. Фролов

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 р.

## **ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи**

Дегтярьової Яни Сергіївни

1. Тема роботи «Організаційно-технічні заходи захисту населення від електромагнітних впливів» затверджена наказом ректора від " \_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 року №
2. Термін виконання роботи: з 05.10.2020 р. по 31.12.2020 р.
3. Вихідні дані роботи:
  - провести аналіз основних даних про джерела електромагнітного випромінювання;
  - сформулювати в роботі сучасні засоби захисту працюючих від впливу електромагнітного випромінювання;
  - надати рекомендації щодо розроблення і впровадження комплексу організаційно-технічних заходів мінімізації впливу електромагнітних випромінювань на населення та у виробничих умовах;
4. Зміст пояснювальної записки: Нормативні вимоги до рівнів електромагнітних полів та випромінювань. Основні дані про джерела електромагнітних випромінювань аеродрому Київ/Антонов-2. Особливості екранування електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот.

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: таблиці, рисунки.

6. Календарний план-графік:

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Постановка задачі та огляд літературних джерел	До 12.10	
2	Збирання та обробка фактологічного матеріалу	До 25.10	
3	Робота над розділом №1	До 10.11	
4	Робота над розділом №2	До 17.11	
5	Робота над розділом №3	До 24.11	
6	Оброблення результатів вимірювання	До 30.11	
7	Робота над розділом №4 "Охорона праці"	До 07.12	
8	Оформлення презентації в Power Point	До 16.12	
9	Підготовка до захисту	До 25.12	

7. Консультація з окремого розділу:

Назва розділу	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	В.Д. Павлиш		

8. Дата видачі завдання: "01" вересня 2020 р.

Керівник дипломної роботи: \_\_\_\_\_

В.А.Глива

Завдання прийняв до виконання: \_\_\_\_\_

Я.С. Дегтярьова

## РЕФЕРАТ

УЛЬТРАВИСОКІ ЧАСТОТИ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ЕКРАН, ДЖЕРЕЛА ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ.

**Пояснювальна записка до дипломної роботи «Організаційно-технічні заходи захисту населення від електромагнітних впливів»: 91 с., 7 рис., 15 табл., 46 літературних джерела.**

Об'єкт дослідження: генерація і поширення електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот у виробничих приміщеннях.

Предмет дослідження: кількісні характеристики електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот у виробничих приміщеннях, визначення засобів та заходів їх зниження до мінімально необхідних рівнів.

Мета роботи: розроблення комплексу заходів і засобів захисту працюючих від впливу електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот, їх раціоналізація, яка ґрунтується на наявності рівнів випромінювань необхідних для забезпечення виробничих процесів.

Методи дослідження: метод натурних вимірювань електромагнітних полів ультрависоких та вищих частот, розрахунковий метод визначення ефективності засобів екранування електромагнітних полів та розроблення металополімерного захисного матеріалу з малим коефіцієнтами відбиття

Отриманні результати та їх новизна: обґрунтовано і розроблено систему нормалізації рівнів електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот, яка базується на керуванні електромагнітною обстановкою у виробничих приміщеннях, враховуючи службові потреби забезпечення стабільного функціонування засобів бездротового зв'язку; науково обґрунтовано методи проектування захисних поверхонь для екранування електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот з використанням металевих наноструктур, що дозволяє знизити коефіцієнти відбиття до 0,25...0,27 з гарантованим поглинанням електромагнітної енергії у 40 дБ за вмісту металевої субстанції 11...12 %; удосконалено розрахункові методи визначення ефективності електромагнітних екранів; набули подальшого розвитку прогнозування захисних властивостей електромагнітних екранів за рахунок визначення їх електрофізичних властивостей.

## **ЗМІСТ**

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....</b>	<b>7</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>8</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ДАНІ ПРО ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ТА ЗАХИСТ ПРАЦЮЮЧИХ ВІД ЇХ ВПЛИВУ.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Національні і міжнародні нормативні акти з електромагнітної безпеки.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Нормативні вимоги до рівнів електромагнітних полів та випромінювань аеродрому Київ/Антонов-2.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Основні дані про джерела електромагнітних випромінювань аеродрому Київ/Антонов 2.....</b>	<b>24</b>
<b>1.4 Засоби і заходи з захисту працюючих від впливу електромагнітних полів та випромінювань.....</b>	<b>28</b>
<b>РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ РІВНІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ.....</b>	<b>38</b>
<b>2.1 Стандартні методи і методики визначення рівнів електромагнітних полів ультрависоких та вищих частот.....</b>	<b>39</b>
<b>2.2 Розрахункові методи визначення та прогнозування ефективності засобів захисту для різних частотних діапазонів.....</b>	<b>41</b>
<b>РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ І ЗАСОБІВ ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ.....</b>	<b>48</b>

3.1	Натурні вимірювання рівнів електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот та визначення умов формування електромагнітної обстановки у виробничих приміщеннях.....	49
3.2	Дослідження особливостей та ефективності екранування.....	55
3.3	Дослідження ефективності електромагнітних екранів з регулярною провідною структурою, методи її визначення та засоби підвищення захисних властивостей.....	59
3.4	Рекомендації щодо дотримання вимог санітарно-захисних зон і зон обмеження забудови з умов електромагнітного випромінювання.....	63
<b>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....</b>		<b>73</b>
4.1	Вимоги до виробничих приміщень і розташування обладнання....	75
4.2	Засоби захисту працівників від дії електромагнітних полів.....	77
<b>ВИСНОВКИ.....</b>		<b>83</b>
<b>СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>		<b>86</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БПРМ	ближній приводний радіомаяк
ГДР	гранично допустимий рівень
ГРМ	глісадний радіомаяк
ДПРМ	дальній приводний радіомаяк
ЕМВ	електромагнітне випромінювання
ЕМП	електромагнітне поле
Кв	коефіцієнт відбиття електромагнітної хвилі
Ке	коефіцієнт екранування електромагнітного поля
Кп	коефіцієнт поглинання електромагнітної енергії
КРМ	курсний радіомаяк
ОРЛ	оглядовий радіолокатор
РЛС	радіолокаційна станція
РП	радіопеленгатор
РТО	радіотехнічне обладнання
СЗЗ	санітарно-захисна зона
СП	система посадки
ЦА	цивільна авіація
ЩПЕ	щільність потоку енергії
<i>H</i>	напруженість магнітного поля
SA	питома поглинена енергія
SAR	питома поглинена потужність
W	щільність потоку енергії

## ВСТУП

Задача захисту працюючих від впливу електромагнітних полів та випромінювань вагома складова організаційно-технічних заходів підвищення рівня охорони праці на підприємствах різного профілю, у зв'язку зі зростанням насиченості виробничого середовища електричним та електронним обладнанням та підвищенням електромагнітного навантаження на довкілля.

Інтенсивний розвиток технологій, зміна парку технологічного обладнання призводить до зростання амплітуд та розширення частотного спектра електромагнітних полів, котрі впливають на працюючих у виробничих умовах. Джерелами таких впливів є не тільки пристрої, що використовуються у виробничих процесах, допоміжне електричне та електронне обладнання, а й технічні засоби бездротових комп'ютерних мереж, мобільного зв'язку тощо. Значний вплив на електромагнітну обстановку виробничих приміщень мають базові станції мобільного зв'язку, радіотехнічне обладнання цивільної авіації тощо.

У таких умовах традиційні методи захисту часом та відстанню не завжди забезпечують нормативні рівні електромагнітних полів на робочих місцях.

На сьогоднішній день найбільш ефективним методом захисту працюючих від електромагнітних впливів є використання електромагнітних екранів.

Особливість розвитку охорони праці в Україні, зокрема електромагнітної безпеки, є процес імплементації у національну нормативно-правову базу загальноєвропейських норм і правил електромагнітної безпеки та електромагнітної сумісності технічних засобів. Це обумовлює необхідність підвищення ефективності засобів захисту працюючих. Низкою досліджень доведено, що як традиційні екранувальні матеріали,



регламентовані чинними нормативними документами, так і новітні – металовмісні діелектрики та аморфні магнітом'які металеві сплави не завжди забезпечують необхідну ефективність екранування. Причина полягає в низькій керованості захисних властивостей таких матеріалів та неможливості забезпечення належного захисту за рахунок поглинання електромагнітної енергії при мінімальних коефіцієнтах відбиття з одночасним забезпеченням рівнів випромінювань, достатніх для функціонування бездротових комп'ютерних мереж і мобільного зв'язку.

Таким чином, дослідження щодо формування комплексу організаційно-технічних заходів захисту працюючих від впливу електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот, зокрема розроблення та дослідження захисних матеріалів з властивостями, які регулюються, можливістю вибіркового поглинання електромагнітних випромінювань, мінімальними коефіцієнтами відбиття та надання практичних, науково обґрунтованих рекомендацій стосовно їх використання у реальних виробничих умовах є актуальним науково-практичним завданням.

Мета даної роботи полягає у розробленні комплексу заходів і засобів захисту працюючих від впливу електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот, їх раціоналізація, яка ґрунтується на наявності рівнів випромінювань необхідних для забезпечення виробничих процесів.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні задачі:

- 1) аналіз існуючих підходів зі зниження рівнів електромагнітних полів та випромінювань у виробничих умовах;
- 2) дослідження фактичних рівнів електромагнітного випромінювання у промислових будівлях і спорудах;
- 3) визначення умов формування електромагнітної обстановки у виробничих приміщеннях в залежності від конструктивних особливостей будівель і споруд та впливу зовнішніх факторів;

4) дослідження і розроблення засобів екранування електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот в залежності від амплітудно-частотних характеристик екранованого поля;

Об'єкт дослідження - генерація і поширення електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот у виробничих приміщеннях.

Предмет дослідження - кількісні характеристики електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот у виробничих приміщеннях, закономірності їх перерозподілу та визначення засобів і заходів їх зниження до мінімально необхідних рівнів.

Науково-методичну основу виконаних досліджень складають:

- метод натурних вимірювань електромагнітних полів ультрависоких та вищих частот;
- статистичні методи оброблення експериментальних даних;
- розрахунковий метод визначення ефективності засобів екранування електромагнітних полів.

На сьогоднішній день недостатньо вивчені фактичні рівні електромагнітних полів (ЕМП) ультрависоких, надвисоких і надзвичайно високих частот у виробничих приміщеннях різного призначення (промислових і адміністративних будівлях та спорудах). Відсутня система критеріїв і механізмів формування електромагнітної обстановки у виробничому середовищі в залежності від конструктивних особливостей будівель і споруд, номенклатури технологічного обладнання та впливу зовнішніх факторів, не повною мірою досліджено і науково обґрунтовано засади екранування електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот у залежності від фактичних параметрів випромінювань, що впливають на працюючих, недостатньо розроблені методологічні засади керування захисними властивостями заданим або необхідним співвідношенням коефіцієнтів поглинання та відбиття.

Наукова новизна отриманих результатів науково обґрунтовано і розроблено систему нормалізації рівнів електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот, яка базується на керуванні електромагнітною обстановкою у виробничих приміщеннях, враховуючи службові потреби забезпечення стабільного функціонування засобів бездротового зв'язку; вперше науково обґрунтовано методологічні засади проектування захисних поверхонь для екранування електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот з використанням металевих наноструктур з керованими захисними властивостями, що дозволяє знизити коефіцієнти відбиття до 0,26...0,28 з гарантованим поглинанням електромагнітної енергії у 40 дБ за вмісту металевої субстанції 11% - 12 %; удосконалено розрахункові методи визначення ефективності електромагнітних екранів, зокрема емпіричне співвідношення розрахунку коефіцієнтів екранування захисних поверхонь у вигляді хвилеводів з урахуванням частоти зрізу; набули подальшого розвитку прогнозування захисних властивостей електромагнітних екранів за рахунок визначення їх електрофізичних властивостей.

Практичне значення отриманих результатів:

1) розроблений комплекс засобів і заходів нормалізації (мінімізації) рівнів електромагнітних випромінювань, який пропонується використати для зниження електромагнітного навантаження на працюючих на підприємствах, де такі випромінювання використовуються як робочі (радіотехнічні об'єкти цивільної авіації, підприємства мобільного та релейного зв'язку тощо);

2) розроблені електромагнітні екрани поглинального типу з регулярними структурами, придатні для гнучкого використання, зокрема для поглинання вузькосмугових випромінювань наднормативних рівнів та регулювання співвідношень коефіцієнтів поглинання і відбиття зміною кроків та форм регулярних структур;

3) розроблені композитні електромагнітні екрани мають широкий діапазон для регулювання як загального коефіцієнта екранування, так і співвідношення коефіцієнтів поглинання та відбиття;

4) розроблені заходи і засоби зниження рівнів електромагнітних полів придатні не тільки для захисту працюючих, але й для вирішення задач електромагнітної сумісності технічних засобів, тобто зниження впливу випромінювань на працездатність обладнання та взаємного впливу електричних та електронних пристроїв;

4) запропонований алгоритм щодо розроблення та виготовлення поверхонь для захисту працюючих від електромагнітних впливів значно прискорює і знижує вартість впровадження заходів електромагнітної безпеки.

Результати даної роботи були оприлюднені на конкурсі наукових робіт у м.Харькові.

## РОЗДІЛ 1

### ОСНОВНІ ДАНІ ПРО ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ТА ЗАХИСТ ПРАЦЮЮЧИХ ВІД ЇХ ВПЛИВУ

На сьогоднішній день недостатньо вивчені фактичні рівні електромагнітних полів (ЕМП) ультрависоких, надвисоких і надзвичайно високих частот у виробничих приміщеннях різного призначення (промислових і адміністративних будівлях та спорудах). Відсутня система критеріїв і механізмів формування електромагнітної обстановки у виробничому середовищі в залежності від конструктивних особливостей будівель і споруд, номенклатури технологічного обладнання та впливу зовнішніх факторів, не повною мірою досліджено і науково обґрунтовано засади екранування електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот у залежності від фактичних параметрів випромінювань, що впливають на працюючих, недостатньо розроблені методологічні засади керування захисними властивостями заданим або необхідним співвідношенням коефіцієнтів поглинання та відбиття.

Система санітарно-гігієнічного нормування гранично допустимих рівнів ЕМП для населення в Україні виходить з принципу введення обмежень для конкретних випадків випромінювань як за рівнями, так і за відстанями до їх джерел.

Можна виділити наступні види випромінювань, на які для населення встановлені спеціально розроблені санітарно - гігієнічні норми: елементи систем мобільного зв'язку, всі типи стаціонарних радіотехнічних об'єктів (включаючи радіо- і телевізійні станції, радіолокаційні і радіорелейні станції, земні станції супутникового зв'язку, об'єкти транспорту з базуванням мобільних радіотехнічних засобів, відео-дисплейні термінали та монітори персональних комп'ютерів, СВЧ - печі, індукційні печі).

В основу встановлення ГДР покладений принцип наявності порогу шкідливої дії ЕМП. Як ГДР ЕМП приймаються такі значення, які при щоденному опромінюванні у властивому для даного джерела випромінювання режимах не викликає у населення без обмеження статі і віку захворювань або відхилень в стані здоров'я, що визначаються сучасними методами дослідження в період опромінювання або у віддалені терміни життя після припинення опромінювання.

Основний критерій визначення рівня дії ЕМП як гранично допустимого - дія не повинна викликати у людини навіть тимчасового порушення гомеостазу (включаючи репродуктивну функцію), а також напруження захисних і адаптаційно - компенсаторних механізмів ні в найближчому, ні у віддаленому періоді часу. Це означає, що як ГДР приймається дробова величина від мінімального рівня електромагнітного поля, здатного викликати абияку реакцію.

Залежно від місця знаходження людини щодо джерела ЕМП, людина може підпадати під дію електричної або магнітної складової поля, або їх поєднанню, а у разі перебування в хвильовій зоні — дії сформованої електромагнітної хвилі. За цією ознакою визначається необхідний критерій контролю безпеки.

Зростання потужності радіолокаторів різного призначення і використання гостроспрямованих антен кругового огляду приводить до значного збільшення інтенсивності ЕМВ СВЧ-діапазону і створює на місцевості зони великої протяжності з високою ГПЕ.

### **1.1. Національні і міжнародні нормативні акти з електромагнітної безпеки**

Як національна так і міжнародна нормативна база з електромагнітної безпеки, зокрема у високочастотній ділянці електромагнітного спектра добре

розроблені. Але швидка зміна якісних та кількісних характеристик джерел електромагнітних випромінювань обумовлює певне відставання національної нормативної бази з цієї проблематики від реалій сьогодення. Це потребує виявлення існуючих невідповідностей з метою надання науково-обґрунтованих пропозицій щодо вдосконалення чинних нормативів на основі проведення досліджень.

Головними нормативами загального призначення, які нормують високочастотні випромінювання в Україні є [6-7].

У нормативі [6] гранично допустимий рівень випромінювань базових станцій мобільного зв'язку (інтегральний) складає  $2,5 \text{ мкВт/см}^2$ . Аналогічний показник для тих же частот у документі [7] складає  $10 \text{ мкВт/см}^2$ . Не дивлячись на те, що він стосується в основному радіотехнічних об'єктів цивільної авіації, через збіг частот їх неможливо розділити за допомогою приладів.

Обидва ці документи розглядають в основному радіолокаційне обладнання, залишаючи поза увагою інші джерела випромінювання.

Також прийнято рішення щодо підвищення гранично допустимих рівнів випромінювань засобів мобільного зв'язку до  $10 \text{ мкВт/см}^2$ . Такі параметри відповідають вимогам міжнародного нормативу з електромагнітної безпеки, прийнятому у Євросоюзі [15], однак на сьогоднішній день ця вимога офіційно не реалізована МОЗ України. Що стосується виробничих умов, то головним і добре опрацьованим документом є «Санітарні норми при роботі з джерелами електромагнітних полів» [8]. У цьому нормативі (п. 4.5.3.) зазначено, що за восьмигодинного робочого дня щільність потоку енергії може складати  $25 \text{ мкВт/см}^2$ , але таке значення ніяким чином не відповідає іншим національним та міжнародним нормативам. У разі перевищення рівнів випромінювань потрібно застосовувати їх екранування, а крім того наведено перелік екрануючих матеріалів [16]. Це металеві сітки, суцільні екрани зі сплавів кольорових та

чорних металів. Як вже неодноразово наголошувалося фахівцями [17], думка що захист від впливів електромагнітних випромінювань ультрависоких частот досить проста задача і вона спрощується зі зростанням частоти - хибна. Дійсно, захист від суцільного екрану з будь-якого металевого матеріалу є надійним, але він досягається практично повністю за рахунок відбиття, а це погіршує електромагнітну обстановку поза межами зони, що захищається та у виробничих приміщеннях за рахунок багаторазового відбиття. Такі ефекти у наведених нормативах не враховуються. Як показано у [17], практично значущим є надання у нормативі параметрів сітчастих та градчастих структур для захисту працюючих, але цей аспект ще досліджено не достатньо. У наведених нормативах не згадується також сучасні композитні і металеві матеріали, які за своїми захисними властивостями перевищують навіть пермалої.

Наведені у вищезгаданих нормативах недоліки також суперечать останній редакції загальноєвропейської директиви щодо рівнів впливу фізичних факторів на людей у будівлях і спорудах [18].

Не дивлячись на напрацювання щодо вдосконалення екранування у п.6.7.2. [8] наголошується про екранування джерел випромінювання або робочих місць за допомогою відбивальних екранів. Що стосується поглинальних екранів, вказано, що для виготовлення використовуються матеріали, котрі враховують довжину хвилі випромінювання. На нашу думку, це є повна невизначеність, яка не має практичного значення.

Відомо, що зараз відбувається масовий перехід на бездротові комп'ютерні мережі, у яких застосовується електромагнітні випромінювання ультрависоких та надзвичайно високих частот (2,1; 2,4; 5,1 ГГц). Використання саме таких частот не є довільним, а обумовлене міжнародними угодами використання частот, які не підлягають ліцензуванню. В той же час в чинних нормативах з експлуатації засобів обчислювальної техніки такі випромінювання не згадуються та не регламентуються, більш того, не



дивлячись на те, що правила охорони праці прийняті не так давно за всіма пунктами, де розглядаються фактори впливу на працюючих вони посиляються на вимоги санітарних норм. У цих нормах рівні електромагнітних полів та випромінювань нормуються за ГОСТами 70-80-х років, які повністю скасовані. Крім того вони ніяким чином не відповідають міжнародним нормативам з експлуатації комп'ютерної техніки. Фактично не враховується розташування комп'ютеризованих робочих місць відносно Wi-Fi роутерів, які за великої кількості працюючих можуть генерувати електромагнітний фон ультрависокої та надвисокої частот гігієнічно значущих рівнів. Як показано у роботі [19], така електромагнітна обстановка може формуватися навіть за мінімальних випромінювальних здатностей цього обладнання -  $10 \text{ мкВт/см}^2$ . Дані реалії вимагають нових підходів до розроблення схем взаємного розташування великої кількості комп'ютерів у виробничих приміщеннях.

Певні недоліки мають і чинні Державні будівельні норми. У нормативах з проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення та проектування висотних житлових і громадських будівель жодним чином не розглядається впровадження на стадіях проектування і монтажу захист людей від високочастотних випромінювань зовнішніх і внутрішніх джерел.

Як показано у роботі [20], електромагнітна безпека працюючих та електромагнітна сумісність технічних засобів є двоєдина задача, тобто забезпечення електромагнітної сумісності обладнання, яке базується на зниженні випромінювальних властивостей електричного та електронного технологічного обладнання, не тільки сприяє, а й значною мірою обумовлює рівень електромагнітної безпеки працюючих. Доведено і надано конкретні пропозиції щодо цього питання у сучасних дослідженнях [21, 22]. Однак, більшою мірою вони стосуються електромагнітних полів наднизьких та низьких частот. Високочастотні випромінювання з цієї точки зору майже не

розглядалися, хоча як показано в роботах випромінювання ультрависоких і надвисоких частот суттєво впливають не тільки на людей, а й на стабільність роботи сучасного медичного обладнання, що може призводити до постановки помилкових діагнозів.

Актуальність цієї проблематики обумовлена тим, що згідно з наказом Мінекономрозвитку від 29.12.2014 № 1483 набрала чинності низка європейських нормативів з електромагнітної сумісності, частина яких стосується високочастотних випромінювань [23].

В Україні вони мають позначення ДСТУ EN 300 386:2014, ДСТУ EN 301 489-1:2014 і введені як ідентичні методом підтвердження відповідно до офіційного їх перекладу на державну мову. Таким чином, виникла ситуація коли нормативні умови щодо експлуатації технічних засобів є жорсткішими за чинні вимоги з електромагнітної безпеки працюючих.

Окремого розгляду потребують розбіжності між одиницями вимірювання електромагнітних величин у національних і міжнародних нормативах. У міжнародному нормативі [15], який є складовою директиви для частот вище 100 кГц використовується дозовий підхід (визначається SA – питома поглинена енергія (Дж/кг) та SAR – питома поглинена потужність (Вт/кг), у національних нормативах використовується фактичне значення щільності потоку енергії, яка впливає на людину (Вт/м<sup>2</sup>). Дозовий підхід є і у національному нормативі [8], вплив електромагнітного поля в діапазоні частот 300 МГц – 300 ГГц визначається як Вт год/м<sup>2</sup>. Перерахунок цих величин є дуже проблематичним і може бути здійснений лише приблизно. Переваги та недоліки таких розбіжностей на сьогоднішній день дискутуються серед фахівців медичної та гігієнічної галузей, але проблема існує і потребує вирішення. Як показано вище, в Україні чинними є перелік Правил охорони праці та Санітарних норм і правил з електромагнітної безпеки, в той час як у Євросоюзі такий документ один. Він регламентує усі види як виробничої діяльності, так і побутові умови. У ньому відсутні

невідповідності, притаманні національній нормативній базі. Ще однією важливою відмінністю міжнародного нормативу від національного є неперервність змін гранично допустимих значень та їх розрахунок, прив'язаний до частоти. При цьому, починаючи з частоти 100 кГц нормуються як середні рівні впливу на людину, так і їх амплітудні значення. Проведений аналіз свідчить про необхідність розроблення рекомендацій для подолання вказаних недоліків, котрі повинні ґрунтуватися на надійних експериментальних даних та теоретичних напрацюваннях з урахуванням специфіки розміщення джерел ультрависоких та вищих частот. Необхідні конструктивні рішення щодо інженерних мереж та проектної документації виробничих будівель і споруд враховуючи результати сучасних досліджень у цьому напрямі [24].

## **1.2. Нормативні вимоги до рівнів електромагнітних полів та випромінювань аеродрому Київ/Антонов-2**

Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами ЕМП [1] встановлюють вимоги до умов праці працівників, що займаються виготовленням, експлуатацією, обслуговуванням та ремонтом обладнання, при роботі якого виникають постійні ЕМП та ЕМВ у діапазоні частот від 50,0 Гц до 300,0 ГГц.

Санітарні норми і правила є обов'язковими для всіх міністерств, інших центральних органів виконавчої влади, установ, організацій, підприємств незалежно від відомчої належності та форм власності громадян, які проектують, виготовляють, експлуатують та обслуговують обладнання, апаратуру, прилади, устаткування тощо, що є джерелами ЕМП; які розробляють та впроваджують заходи щодо зниження шкідливого впливу ЕМП на працюючих; які виконують державний санітарний нагляд за умовами праці.

Вимоги цих санітарних норм і правил повинні бути враховані у нормативно-технічних документах: стандартах, будівельних нормах, технічних умовах, інструкціях, методичних вказівках та інших, які регламентують конструктивні та експлуатаційні вимоги до обладнання, устаткування, приладів, апаратів тощо, у тому числі зарубіжного виробництва, що є джерелами ЕМП.

Електромагнітна енергія, що випромінюється антенами передавальних РТО, поширюється в просторі, утворюючи ЕМП, які прийнято характеризувати двома нерозривно пов'язаними електричною (Е) і магнітною (Н) складовими.

Електромагнітне поле в 5-8 діапазонах частот (табл. 1.2.1) оцінюється величиною напруженості поля. Одиницею виміру напруженості поля для електричної складової є 1 Вольт на 1 метр (В/м). Електромагнітне поле у 9-11 діапазонах частот оцінюється ГПЕ. Одиницею виміру ГПЕ є 1 Ват на 1 квадратний метр - Вт/м<sup>2</sup> (1 Вт/м<sup>2</sup> = 10 мВт/см<sup>2</sup> = 100 мкВт/см<sup>2</sup>).

Таблиця 1.2.1

### Номенклатура діапазонів частот (хвиль)

Номер діапазону*	Діапазон частот (включаючи нижню, включаючи верхню межу)	Діапазон хвиль (включаючи нижню, включаючи верхню межу)	Відповідний метричний розподіл діапазонів
5	від 30 до 300 кГц	від 10 <sup>4</sup> до 10 <sup>3</sup> м	кілометрові хвилі (низкі частоти, НЧ)
6	від 300 до 3000 кГц	від 10 <sup>3</sup> до 10 <sup>2</sup> м	гектометрові хвилі (середні частоти, СЧ)
7	від 3 до 30 МГц	від 10 <sup>2</sup> до 10 м	декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)
8	від 3 до 30 МГц	від 10 до 1 м	метрові хвилі (дуже високі частоти, ДВЧ)
9	від 300 до 3000 МГц	від 1 до 0,1 м	дециметрові хвилі (ультрависокі частоти, УВЧ)
10	від 3 до 30 ГГц	від 10 до 1 см	сантиметрові хвилі (надвисокі частоти, НВЧ)
11	від 30 до 300 ГГц	від 1 до 0,1 см	міліметрові хвилі (надзвичайно високі частоти, НЗВЧ)

ГДР напруженості електричного поля, що виражаються середньоквадратичним значенням, і рівень ГПЕ, який виражається середнім значенням, визначаються в залежності від частоти (довжини хвилі) і режиму випромінювання за табл. 1.2.2.

Таблиця 1.2.2

### ГДР напруженостей електричного поля

№ діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти	Довжини хвиль	ГДР, В/м
5	кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30:300 кГц	10:1 км	25
6	гектаметрові хвилі (середні частоти, СЧ)	0.3:3 МГц	1:0.1 км	15
7	декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	3:30 МГц	100:10 м	3 lgλ
8	метрові хвилі (дуже високі частоти, ДВЧ)	30:300 МГц	10:1 м	3

Примітки:

1. Діапазони, наведені в таблиці, виключають нижню, включають верхню межу частоти.
2. ГДР, наведені в даній таблиці, не поширюються на засоби радіозв'язку, телебачення, які нормуються окремо.
3. Вимірювання рівнів ЕМП, які створюють засоби радіозв'язку передавального радіоцентру цивільної авіації, здійснюється за методикою, викладеною у "Методичних вказівках..." N 4550-88. - М.: 1988. - 44 с.
4. Перерахунок ГДР в залежності від часу опромінення населення не допускається. λ - довжина хвилі в метрах або ГДР = 7.43 - 3lg f, де f - частота в МГц.

ГДР ЕМП, що створюють інші типи станцій, які не ввійшли до табл. , в тому числі радіолокаційними засобами, що працюють в імпульсному режимі випромінювання, тимчасово до розробки індивідуальних нормативів, встановлюється 2.5 мкВт/см<sup>2</sup>, або 3 В/м<sup>2</sup>, як для діапазонів ДВЧ та УВЧ.

Співвідношення між напруженістю електричного поля  $E$  і ГПЕ  $W$  є наступним:  $W = E^2 / 377$ .

З метою захисту населення від впливу ЕМП, яке створюють РТО, встановлюються СЗЗ і ЗОЗ, що визначаються ГДР ЕМП (безперервне випромінювання, амплітудна або кутова модуляція).

Гранично допустимі величини ЕМП у діапазоні частот 300 МГц-300 ГГц слід визначити за формулою  $W_{ГД} = K \cdot \frac{EH_{W_{ГД}}}{T}$ ,

де  $W_{ГД}$  – граничнодопустима величина ГПЕ, Вт/м<sup>2</sup> (мВт/см<sup>2</sup>, мкВт/см<sup>2</sup>);

$EH_{W_{ГД}}$  – граничнодопустима величина енергетичного навантаження становить

$$2 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \text{ (} 200 \text{ мкВт} \cdot \text{год} / \text{см}^2 \text{);}$$

$K$  – коефіцієнт ослаблення біологічної ефективності дорівнює:

1 – для всіх випадків впливу, виключаючи випромінення від антен, що обертаються і сканують;

10 – для випадків випромінення від антен, що обертаються і сканують, з частотою не більше 1 Гц;

$T$  – час перебування в зоні випромінювання за робочу зміну, год.

У всіх випадках максимальне значення  $W_{ГД}$  не повинно перевищувати 1 мВт/см<sup>2</sup>.

Гранично допустиме значення густини потоку енергії ( $W_{ГД}$ ) залежно від тривалості дії ЕМВ наведені в табл. 1.2.3:

Таблиця 1.2.3

**ГДР густини потоку енергії ( $W_{ГД}$ ) залежно від тривалості дії ЕМВ**

Час перебування персоналу, год	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	0,25	0,20
Густина потоку енергії, мкВт/см <sup>2</sup>	23	29	35	41	49	65	115	215	415	815	1018

При тривалості дії менше 0,2 години подальше підвищення інтенсивності фактора не допускається.

Граничнодопустимі рівні постійних магнітних полів протягом робочого дня не повинні перевищувати 8 кА/м.

Для магнітних полів, які утворюються випрямленим трифазним струмом, ГДР визначаються за формулою:

$$H_{гд} = \sqrt{\frac{EH_{гд}}{T}},$$

де  $H_{гд}$  - граничнодопустиме значення напруженості магнітного поля, кА/м;

$EH_{гд}$  - граничнодопустиме значення енергетичного навантаження протягом робочого дня, дорівнює 144 кА год/м<sup>2</sup> ;

$T$  - час впливу, год.

ГДР електричних полів частотою 50 Гц визначаються залежно від часу дії цього фактора на організм людини за робочу зміну. Перебування в електричному полі напруженістю до 5 кВ/м включно допускається протягом 8 годин робочого дня.

ГДР магнітного поля частотою 50 Гц при постійному впливі не повинні перевищувати 1,4 кА/м протягом робочого дня (8 год).

Час перебування людини в магнітному полі напруженістю понад 1,6 кА/м регламентується табл. 1.2.4:

Таблиця 1.2.4

**Час перебування людини в магнітному полі напруженістю понад 1,6 кА/м**

Час перебування персоналу, год	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруженість магнітного поля, кА/м	6,1	5,1	4,2	3,4	2,7	2,2	1,8	1,6
Магнітна індукція, мТл	7,6	6,33	5,2	5,2	3,33	2,7	2,2	1,95

При тривалості дії менше 0,08 год подальше підвищення інтенсивності фактора не допускається. У всі випадках при зазначенні діапазонів частот кожний діапазон виключає нижню верхню межу частоти (табл. 1.2.5).

**Значення ГДР напруженості електричної ( $E_{ГД}$ ) і магнітної ( $H_{ГД}$ )  
складових залежно від тривалості їх дії**

Час перебування персоналу, год	$E_{ГД}$ , В/м					$H_{ГД}$ , А/м			
	1-10 мГц	10-50 мГц	0,06-3 мГц	3-30 мГц	30-300 мГц	1-10 мГц	10-60 мГц	0,06-3 мГц	30-50 мГц
8	120	70	50	30	10	9,0	7,0	5,0	0,30
7	130	75	53	32	11	9,8	7,5	5,3	0,32
6	140	82	58	34	12	10,6	8,1	5,8	0,34
5	155	90	63	37	13	11,6	8,8	6,3	0,38
4	175	110	71	42	14	13,0	9,9	7,1	0,42
3	200	115	82	48	16	15,0	11,4	8,2	0,49
2	250	140	100	59	20	18,4	14,0	10,0	0,60
1	350	200	141	84	28	26,0	19,7	14,2	0,85
0,5	500	280	200	118	40	37,6	27,9	20,0	1,20
0,25	700	400	283	168	57	52,0	39,5	28,3	1,70
0,12	1000	580	400	240	82	75,0	57,0	40,8	2,45
0,08		700	500	296	80			50,0	3,00

Одночасний вплив електричного і магнітного полів у діапазоні частот від 1 кГц до 3 МГц слід вважати допустимим за умови

$$\frac{EN_E}{EN_{E_{ГД}}} + \frac{EN_H}{EN_{H_{ГД}}} \leq 1,$$

де  $EN_E$  та  $EN_H$  – енергетичні навантаження, що характеризують вплив електричного і магнітного полів.

### **1.3. Основні дані про джерела електромагнітних випромінювань аеродрому Київ/Антонов 2**

Джерелами випромінювання електромагнітної енергії в районі аеродрому Київ/Антонов-2 відповідно з даними АІР та з Інструкцією по виконанню польотів [2] (табл.1.3.1) є радіотехнічні засоби забезпечення польотів:



- дальній приводний радіомаяк ДПРМ-15;
- дальній приводний радіомаяк ДПРМ-33;
- ближній приводний радіомаяк БПРМ-15;
- ближній приводний радіомаяк БПРМ-33;
- система посадки СП-80 ГРМ-15;
- система посадки СП-80 ГРМ-33;
- система посадки СП-80 КРМ-15;
- система посадки СП-80 КРМ-33;
- радіопеленгатор АРП-75.
- та обзорний радіолокатор 1РЛ139-2, аеродромний радіолокатор ДРЛ-6М2 і точний посадочний радіолокатор РП-4Г (рис.1.3.1).

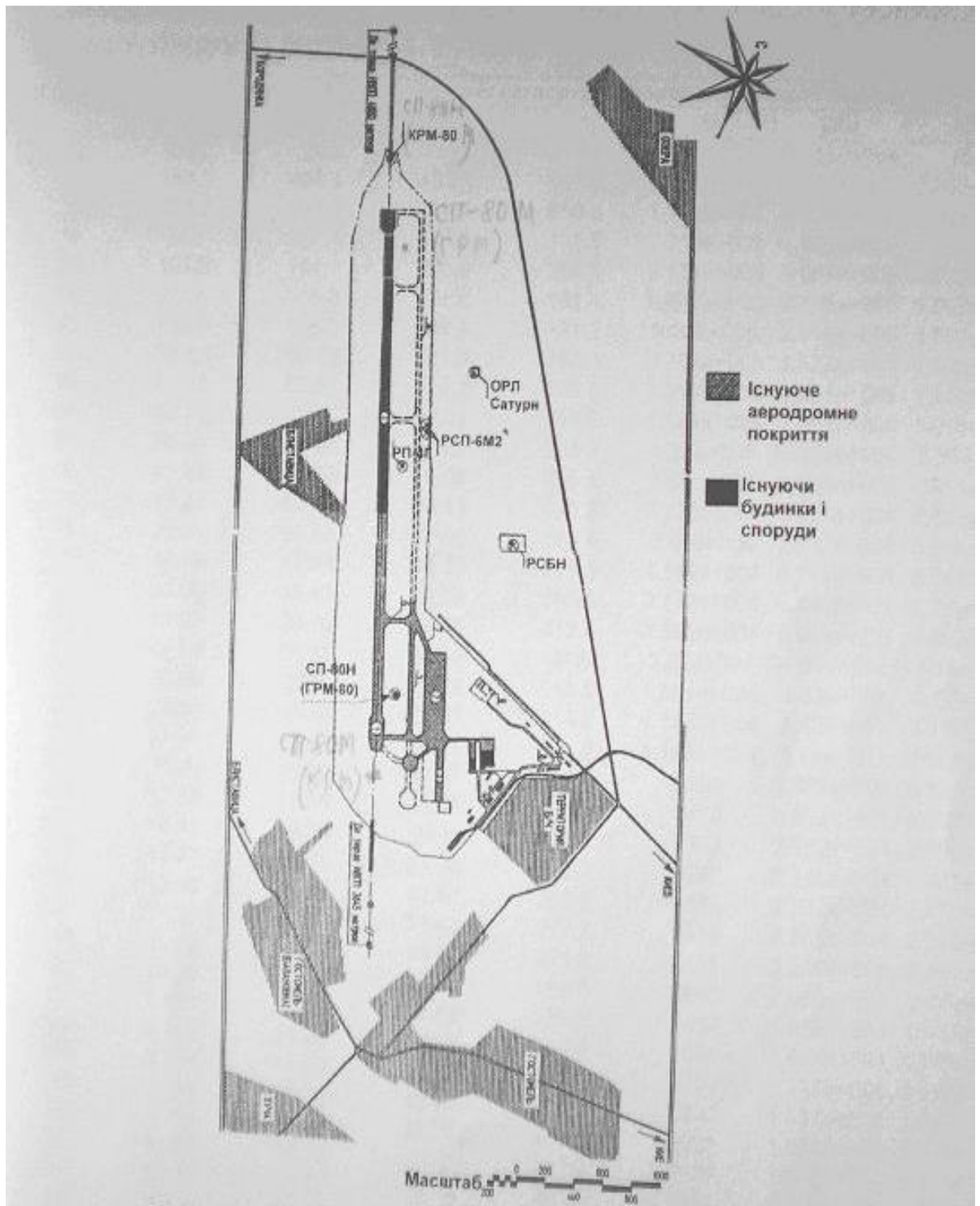
Таблиця 1.3.1

### Радіонавігаційні засоби та засоби посадки

Тип засобу, категорія ILS/MLS Магнітне нахилення для VOR/ILS/MLS	Позначення	Частота	Години роботи	Координати передаючої антени
1	2	3	4	5
LMM 15	C	257.00 KHZ	HS	503733N 0301029E
LMM 33	O	286.00 KHZ	HS	503452N 0301230E
LMM 15	LC	534.00 KHZ	HS	503902N 0300921E
LMM 33	GO	590.00 KHZ	HS	503329N 0301330E
LLZ ILS 33 CAT 1	IGO	108.70 MHZ	HS	503714N 0301043E
G		330.50 MHZ	HS	503532N 0301207E
MM		75.00 MHZ	HS	503452N 0301230E

*Продовження таблиці 1.3.1*

1	2	3	4	5
OM		75.00 MHZ	HS	503329N 0301330E
LLZ ILS 15 CAT 1	ILC	111.90 MHZ	HS	503508N 0301218E
GP		331.10 MHZ	HS	503657N 0301104E
MM		75.00 MHZ	HS	503733N 0301029E
OM		75.00 MHZ	HS	503902N 0300921E



**Рис. 1.3.1. Ситуаційний план радіотехнічного об'єкту із наведенням місця розташування антен і напрямку їх випромінювання**

#### **1.4. Засоби і заходи з захисту працюючих від впливу електромагнітних полів та випромінювань**

Необхідність ретельного аналізу сучасних підходів до зниження впливу на працюючих ЕМВ ультрависоких та вищих частот та пошуки шляхів їх максимального зниження обумовлено не тільки їх гігієнічним значенням, а й резонансністю цієї проблематики у суспільстві. На відміну від ЕМП нижчих діапазонів задачі, пов'язані зі зменшенням рівнів цих випромінювань мають і соціальну складову, на що неодноразово звертали увагу фахівці [25].

Традиційні методи захисту працюючих від впливу таких випромінювань, захист відстанню та часом можливо реалізувати тільки на обмеженій кількості робочих місць, таких як радіотехнічні об'єкти цивільної авіації, морського флоту, систем радіомовлення тощо [26].

Запропоновані у цих роботах засоби захисту досить тривіальні – слідкувати за рівнями випромінювань на робочих місцях, контролювати ізолюваність високочастотних генераторів (магнетронів) від виробничого середовища та обмежувати зони перебування людей у небезпечних зонах радіотехнічних об'єктів. Це не завжди можна впровадити для більшості виробничих умов.

На сьогоднішній день найбільша увага приділяється дослідженню рівнів електромагнітних випромінювань зовнішніх джерел. Їх повну класифікацію наведено у [27]. Такий підхід можна вважати слушним через різноманітність, різну потужність та різні частоти випромінювань таких джерел та методологію визначення електромагнітного навантаження з боку базових станцій стільникового зв'язку. На основі цієї роботи можна зробити необхідне картографування і обмеження електромагнітного навантаження на окремі території та ділянки. Також проаналізовано формування електромагнітного навантаження в умовах неоднорідного електромагнітного навантаження, тобто наявності джерел різних частот і щільностей потоків

енергії. Перевагою роботи є створення бази даних щодо якісного і кількісного складу радіотехнічних об'єктів, що прискорює оцінювання їх впливу в умовах різної орієнтації випромінювачів у різних діапазонах частот. Велику зацікавленість представляє те, що вперше розглядається задача раціоналізації розміщення базових станцій стандарту GSM для забезпечення необхідного і достатнього для надійного зв'язку рівня випромінювань. Фактично зроблено спробу розв'язати відповідну задачу оптимізації, але використати ці напрацювання щодо виробничих приміщень тільки опосередковано через інші механізми формування електромагнітного фону у них.

Велику практичну цінність має дослідження щодо впливу декоративних металевих покриттів будівель на формування електромагнітної обстановки у них. Перевагою роботи є те, що розглянуто і враховано спотворення діаграм спрямованості слабоспрямованих антен ультрависоких частот на будівлях з металічними покриттями у вертикальній і горизонтальній площинах в залежності від характеру розміщення антен відносно провідних поверхонь будівель і споруд. При цьому розглядається також проблематика електромагнітної сумісності обладнання, що як зазначалося вище має безпосередній зв'язок з електромагнітною безпекою.

У більшості робіт щодо зовнішніх джерел надається гігієнічна оцінка випромінювань базових станцій та радіотелефонів, зокрема транкінгового зв'язку [28]. Винятком є дослідження у [29]. У цій роботі зниження електромагнітного фону дуже високих і ультрависоких частот запропоновано досягати за рахунок збільшення ширини спектра сигналу або його тривалості. Найбільш ефективним є розширення спектра сигналу за допомогою додаткової модуляції широкосмуговим допоміжним сигналом.

В останні роки виконано ряд робіт щодо формування електромагнітного фону дуже високих, ультрависоких і вищих частот у приміщеннях, зокрема в умовах часткового радіоекранування. Але фактично

вони розглядають стан електромагнітної обстановки у таких умовах без надання допустимих ступенів екранування, критичності перерозподілу випромінювань тощо. В той час як такі перерозподіли дуже суттєві і потребують іншого підходу до врахування співвідношень відбиття та поглинання [30].

Важливим інструментарієм для пошуків визначення методів і засобів зниження електромагнітного фону у приміщеннях є моделювання поширення і просторових розподілів електромагнітних полів у приміщеннях [31, 32, 33].

Моделювання надає змогу визначати внески зовнішніх і внутрішніх джерел полів у електромагнітну обстановку у приміщеннях і будівлі в цілому, розробляти найбільш прийнятні, з точки зору електромагнітної безпеки, схеми розміщення електричного та електронного обладнання. Моделювання традиційно здійснюється за двома напрямками: формування просторових розподілів ЕМП та випромінювань від окремих джерел та просторових розподілів полів від багатьох джерел. Так у роботах [31, 33] розглядаються просторові розподіли ЕМП потужного електротехнічного обладнання. Перевага таких розподілів полягає у використанні сучасного програмного забезпечення, яке ґрунтується на фундаментальному співвідношенні аналізу електромагнітних полів, виходячи з рівняння Гауса з урахуванням різної швидкості згасання гармонік поля. Для локальних джерел це надає змогу визначити зони мінімальних і максимальних рівнів полів за їх несиметричності, що притаманне усім полям дипольного та дипольно – квадрупольного типу. У роботах [32] розглядається формування електромагнітної обстановки множинних джерел. На їх основі раціоналізуються розміщення у приміщеннях технологічного обладнання, зокрема комп'ютерної техніки. Але ці роботи стосуються електромагнітних полів низьких частот. Також наголошується на можливості перерозподілу випромінювань в умовах часткової екранізації приміщень, а у роботі [34] враховується формування діаграм спрямованості антен високочастотних

випромінювань, для подальшого визначення санітарно-захисної зони та зони обмеження забудови, що не зовсім прийнятно для виробничих умов усередині будівель. В останні роки не приділяється достатньо уваги моделюванню поширення інтенсивності випромінювань високочастотних джерел, але моделюється поширення основних (робочих) випромінювань антен високочастотних джерел. Вважається що усі радіопередавальні пристрої стандартизовані, мають санітарні паспорти і прогнозування поширення їх випромінювання не потрібне. Поза увагою залишається той факт, що антени, випромінювачі ультрависоких і вищих частот, дуже чутливі до усіх зовнішніх впливів – як метеорологічних так і механічних. Однак, у реальних умовах експлуатації таких джерел (винятком є роутери бездротових комп'ютерних мереж, хоча це і неочевидно) діаграми спрямованості випромінювання можуть бути спотворені, тобто не симетричні і мати непередбачувану кількість побічних (паразитних) пелюстків випромінювань. Про це свідчить аналіз паспортів реальних працюючих базових станцій мобільного зв'язку. Цей факт потребує подальших досліджень у даному напрямі. Такі роботи повинні спиратися на лабораторні дослідження та моделювання електромагнітних випромінювань.

Важливим аспектом розроблення заходів з електромагнітної безпеки є визначення структури, закономірності поширення та спрямованостей ЕМП та випромінювань. Це здійснюється у два способи: розрахунковим та експериментальним, з використанням спеціалізованих приладів та зондів. Але як показано у цій роботі, під час вимірювання параметрів поля біля джерела обов'язково виникає взаємний вплив між ним та вимірювальним зондом. Дослідження довели, що чим далі розташована площа вимірювання, тим більші проявляються похибки від обмеження поверхні вимірювання. Для усунення цього недоліку доцільно проводити вимірювання на сферичній або циліндричній поверхні і виходячи з цього визначати параметри поля області апертури джерела. У більшості випадків у хвильовій

зоні доцільно використовувати сферичні координати. У загальному випадку тип джерела має вирішальне значення у ближній зоні. Для дальньої зони тип джерела принципового значення не має, але вирішальним є спрямованість випромінювання. Такий підхід не завжди коректний через наявність непередбачуваних паразитних випромінювань. Враховуючи односпрямованість випромінювання у більшості випадків, принаймні на великі відстані від джерел високочастотних випромінювань моделювання зниження таких випромінювань здійснюється в основному з точки зору їх екранування.

Відомо, що екрануюча здатність суцільних екранів залежить від ступеня прояву поверхневого ефекту і збільшується зі зростанням частоти, але за дуже високих частот це не так. Зі збільшенням частоти існує межа за якої екрануючий ефект починає знижуватися. Це відбувається через те, що стінки екрана не завжди однорідні, як це приймається у розрахунках. Навіть за рахунок місць з'єднань і стиків. Випромінювання проникає крізь структуру екрануючої оболонки у два способи: крізь матеріал стінок та через щілини та отвори. Важливим є те, що поряд зі значним зниженням ефективності екранування у цьому випадку можуть з'являтися резонансні явища, які в екрануючих системах виявлялися експериментально.

Ефективність екранування замкненої оболонки з отворами у інженерній практиці визначають розв'язанням наступних задач: визначення ефективності екранування замкнутої поверхні за відсутності щілин та отворів та визначення ефективності екранування оболонки за припущення нескінченної провідності матеріалу її стінок і проникнення випромінювання тільки крізь щілини і отвори. Такий підхід допомагає вирішити питання щодо припустимості або доцільності наявності отворів і щілин різної форми, тобто питання вибору конструкції екрануючої системи. Очевидно, що такий підхід дещо спрощений і не може бути у чистому вигляді застосований у працехоронній практиці, тобто задачі пов'язані з моделюванням



екрануючих систем, принаймні неоднорідних, вирішені на недостатньому рівні і потребують проведення експериментальних досліджень. Це дозволить розробити спрощений, напівемпіричний математичний апарат, яким зможуть користуватися фахівці з охорони праці безпосередньо у виробничих умовах [35].

Виходячи з викладеного, можна дійти висновку, що на сьогоднішній день екранування є найбільш дієвим засобом захисту від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот.

В останні роки як в Україні, так і за кордоном проведено багато ґрунтовних досліджень щодо захисту працюючих від впливу цього фізичного фактора екрануванням [36].

На основі таких робіт було здійснено прикладні розробки, придатні для використання у реальних виробничих умовах [37].

Відомо, що більша частина частот випромінювань, що розглядаються, екрануються за рахунок відбиття електромагнітних хвиль. У багатьох випадках зниження рівня електромагнітних випромінювань, особливо у приміщеннях за рахунок відбиття цілком виправдане.

Особливо це стосується важливих, точки зору виконуваних робіт, приміщень, наприклад, на підприємствах цивільної авіації [38]. Але у багатьох випадках захист відбиттям може не поліпшувати, а погіршувати електромагнітну обстановку за рахунок відбиття хвиль у небажаному напрямку. Але поглинальні конструкції для цих діапазонів частот розроблялися в основному для задач технічного захисту інформації. Конструктивно, наведені екрани дуже прості, вони складаються з поверхонь у вигляді клиноподібних та шипоподібних елементів, на яких, згідно з законами геометричної оптики відбувається поглинання електромагнітних хвиль. Недоліками таких конструкцій є велика товщина (через необхідність мати достатню глибину), вага і придатність для поглинання практично монохромного випромінювання. У будь-якому випадку такі екрани придатні

для поглинання надвисоких і вищих частот, а для ультрависоких їх габарити є неприйнятними.

Розвиток галузі захисту працюючих від впливу електромагнітних випромінювань спонукав до досліджень, розроблення засад виготовлення поглинальних захисних покриттів [39].

Такі матеріали мають як достатньо високу ефективність екранування, так і більші значення коефіцієнтів поглинання електромагнітних хвиль, але дуже часто їх використання обмежене вузькою частотною смугою. Одним з способів підвищення ефективності поглинання електромагнітних хвиль є використання багатошарових матеріалів, які є або симетричними структурами (отримані чергуванням шарів з ідентичними електромагнітними характеристиками), або градієнтними матеріалами (у яких шари розташовуються зі збільшенням електричних та магнітних втрат з віддаленням від межі розділу екран – середовище розповсюдження хвиль). Це дозволяє покращити узгодження хвильового опору екрана з хвильовим опором середовища розповсюдження електромагнітного випромінювання. У першому випадку у багатошарових матеріалах подавлення хвилі відбувається за рахунок багатократного перевідбиття електромагнітного випромінювання у тілі екрана. Недоліком такої конструкції є те, що товщина шарів повинна відповідати чверті довжини падаючої хвилі. Це обумовлено фундаментальними фізичними законами. Очевидно, що у цьому випадку прийнятні габарити екрана за товщиною будуть тільки за надзвичайно коротких хвиль. У другому випадку для достатньої ефективності шарів повинно бути багато (принаймні чотири - п'ять), причому шар з боку джерела випромінювання повинен бути таким, щоб забезпечував необхідні відбивальні характеристики. Такі конструкції, крім високої вартості, мають недоліки технологічного характеру, пов'язані з труднощами забезпечення адгезії окремих шарів та деградацією матеріалу у процесі довгострокової експлуатації.

Окремим класом є металополімерні конструкції [40]. Вони мають переваги щодо можливості керування захисними властивостями за рахунок вмісту металу у вигляді кульок, стружки, пелюстків тощо та придатність для виготовлення гнучких конструкцій. Але у багатьох випадках вони за прийнятної товщини мають недостатні захисні властивості. При цьому за малих коефіцієнтів відбиття спостерігається також низькі поглинальні властивості.

Аналіз захисних якостей багатокомпонентних матеріалів як з вмістом металу, так і з вмістом рідини дозволило дійти висновку, що значною мірою незадовільні якості захисних екранів обумовлені макророзмірами включень, які і забезпечують необхідні властивості матеріалу. Про це свідчать кілька досліджень виконаних останнім часом. Отримані металодіелектричні матеріали на основі залізо- і кобальтовмісних наночастинок і матриць поліетилену високого тиску, які характеризуються високими значеннями коерцитивної сили, магнітної анізотропії і намагніченості насичення.

Метою робіт, в основному, було зниження несприятливого впливу на високочутливу апаратуру, наприклад медичну, а також несанкціонованого доступу до інформаційної складової електромагнітного випромінювання. Зокрема, у роботах визначено ефект анізотропії ефективної діелектричної проникності у шаровому композитному матеріалі. Встановлено існування досить широких частотних смуг непрозорості регулярної структури (електромагнітного кристалу). Додавання дрібнодисперсного наповнювача і періодичних провідних циліндрів з малим коефіцієнтом відбиття дозволив отримати ефективний радіопоглинальний матеріал. На особливу увагу заслуговує визначення залежностей дійсної та уявної діелектричних проникностей від концентрації дрібнодисперсного графіту у матриці. На основі визначення амплітудно-частотних характеристик коефіцієнта пропускання електромагнітного кристала з різними періодами решітки визначено закономірності захисних властивостей від геометричних

параметрів. Але виготовлення такого матеріалу для цілей електромагнітної безпеки працюючих, на нашу думку, пов'язане зі значними технологічними труднощами і великими витратами, особливо це стосується регулярно розташуваних електромагнітних кристалів.

Практично усі роботи з електромагнітного екранування присвячені дослідженню захисних властивостей матеріалів та можливостей підвищення їх ефективності та керування нею. Але у реальних виробничих умовах частина екранів повністю замкнена (оболонка навколо джерела), а частина має кінцеві розміри, які обмежуються розмірами приміщення або окремої стіни, або навіть розміром окремої частини будівлі. Тому потребують з'ясування геометричні критерії електромагнітних екранів, а саме вплив його розмірів на ефективність захисту. Це особливо актуально для високочастотних випромінювань. Для яких через малі довжини хвиль є суттєвими дифракційні ефекти по краях екранів, тобто наявність тіні і напівтіні. Це обумовлює різні коефіцієнти екранування у захищеній зоні. В той же час більшість робіт, наприклад [41, 42], розглядають джерело випромінювання як дуже віддалене і точкове і нехтують крайовими ефектами або досліджують забезпечення мінімально необхідних ступенів захисту щодо розосереджених низькочастотних джерел.

Крім того, розроблено алгоритм розрахунку ефективності екранування неоднорідного електромагнітного екрана як процедури інтегрованого проектування екрана. Він ґрунтується на коефіцієнтному методі розрахунку ефективності екранування, який враховує наявність прямокутних та круглих отворів, але у виконаній роботі не взято до уваги наявність великої кількості регулярно розташованих отворів, які могли б використовуватися для екранування електромагнітних випромінювань радіотехнічних об'єктів, притаманних наприклад цивільній авіації, де крім необхідної ефективності екран повинен мати велику площу, механічну міцність і прозорість. Це

потребує вироблення відповідних критеріїв і надання їх кількісних характеристик.

Аналіз стану електромагнітної безпеки працюючих, їх захищеність від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких, надвисоких і надзвичайно високих частот показав, що у багатьох випадках він перебуває на достатньому рівні. При цьому несприятливий електромагнітний фон перевищення гранично допустимого рівня спостерігається на підприємствах різного профілю незалежно від виду діяльності. Це обумовлене різним внеском у електромагнітну обстановку внутрішніх та зовнішніх джерел випромінювання. В останні роки спостерігається розширення спектра випромінювань технічних засобів. При цьому тенденцією є підвищення робочих частот у бік надзвичайно високих.

Ознайомлення з науковими дослідженнями та прикладними розробками у цій галузі дозволило дійти висновку, що непередбачуваність інтегральних рівнів щільностей потоків енергії обумовлена наявністю різноманітних джерел випромінювань як внутрішніх (неробочі випромінювання електронного обладнання, бездротові комп'ютерні мережі тощо), так і зовнішніх – базові станції мобільного зв'язку, радіорелейні лінії зв'язку, радіотехнічні об'єкти цивільної авіації тощо. Особливістю в галузі захисту працюючих від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот є те, що значна частина робіт цього напрямку є закритою через використання напрацювань для технічного захисту інформації та у військових цілях.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ КОНТРОЛЮ РІВНІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ

Методи і методики визначення рівнів випромінювань ультрависоких і вищих частот мають певну специфіку і іноді досить складні. Це обумовлено, як правило, наявністю як внутрішніх, так і зовнішніх джерел випромінювання.

Особливість полягає в тому, що частина джерел має спрямоване випромінювання – точкові, а частина – розсіюванні, обумовлені відбиттям та перевідбиттям електромагнітних хвиль.

Виникають випадки коли неможливо ідентифікувати джерела, що належать до одного частотного діапазону, але мають різні гранично допустимі рівні. Наприклад, гранично допустимий рівень ультрависоких випромінювань засобів мобільного зв'язку  $2,5 \text{ мкВт/см}^2$ , а радіотехнічних об'єктів, для таких же робочих частот,  $10 \text{ мкВт/см}^2$ . Більшість приладів, принаймні доступних для дослідників визначає інтегральну величину щільності потоку енергії у діапазоні 300 МГц – 300 ГГц. Для коректності досліджень необхідна селекція за окремими частотами або вузькими смугами частот, особливо для визначення внеску окремих джерел у загальне електромагнітне навантаження на виробниче середовище. Однак існують певні труднощі при визначенні потоку енергії з боку однотипних джерел у зв'язку з тим, що частота не жорстко фіксована. Так частоти базових станцій мобільного зв'язку стандарту GSM-900 у режимі передачі охоплюють смугу 935 – 960 МГц. Згідно зі стандартом DCS-1800, який формально використовує частоту 1800 МГц, то фактично відповідає 1710-1880 МГц, а це значно ускладнює процес натурних вимірювань. На сьогоднішній день не

існує мобільних приладів для визначення високочастотних спектрів, що значно спрощує процес дослідження.

Властивості будівельних матеріалів окремих приміщень можуть впливати на фактичні рівні ЕМВ, та відповідно формувати різний електромагнітний фон.

## **2.1. Стандартні методи і методики визначення рівнів електромагнітних полів ультрависоких та вищих частот**

Використання стандартних (нормативних) методів і методик щодо визначення щільностей потоків енергії є обов'язковим. У загальному вигляді такі недоліки наведені у нормативах [11, 15].

За наявності опромінення від декількох одночасно працюючих джерел на робочому місці інтенсивність інтегрального випромінювання визначалася за результатами оцінювання кожного з діючих джерел. Сумарна інтенсивність випромінювання у діапазоні частот 300 МГц – 300 ГГц вимірювалася у кожній точці для кожного з визначених джерел, а результати додавалися:

$$W = W_1 + W_2 + \dots W_n.$$

Якщо джерела працюють у частотних діапазонах, для яких встановлені різні ГДР застосовувалося співвідношення:

$$\frac{W_1}{ГДР_1} + \frac{W_2}{ГДР_2} + \dots + \frac{W_n}{ГДР_n} \leq 1,$$

де  $W$  - виміряні значення щільності потоку енергії полів;  $ГДР_n$  – ГДР відповідних частотних діапазонів.

Вимірювання ЩПЕ випромінювання антен, а саме - антен, що обертаються і сканують, в цивільній авіації здійснювалося у напрямках максимумів випромінювань при всіх робочих значеннях кута нахилу.

Для проведення натурних вимірювань використовувалася апаратура, яка має відповідне свідоцтво про метрологічну повірку. При проведенні вимірювань щільності потоку енергії використовувався вимірювач рівнів електромагнітних випромінювань ПЗ-31. Межі вимірювань – 0,3-40 ГГц. Межа основної похибки вимірювань складала не більше 2,7 дБ.

Враховуючи досить велику похибку вимірювань, їх кількість для кожного окремого експерименту була достатньою для отримання статистично достовірних результатів. Даний прилад укомплектований трикоординатною антеною, що виключає вплив її орієнтації на результати вимірювань. Вимірювання та оброблення результатів здійснювалося у відповідності до інструкції з експлуатації приладу [43]. Основні технічні характеристики приладу ПЗ-31 наведені в табл. 2.1.1

Таблиця 2.1.1

**Основні технічні характеристики приладу ПЗ-31**

Характеристика	Значення
1. Робочий діапазон частот:	
- для щільності потоку енергії (ЩПЕ): антена А1	300- 40 000 МГц
- для електричної складової поля (Е): антена А4	0,03 – 300 МГц
- для магнітної складової поля (Н): антена А5	0,01- 30 МГц
2. Межі виміру:	0,265–100000 мкВт/см <sup>2</sup>
- для А1	(1 – 615) (В/м)
- для А4, - в діапазоні частот від 0,03 до 0,1 МГц	4 – 600 В/м:
- в діапазоні частот від 0,1 до 300 МГц	2 — 600 В/м:
- для А5, - в діапазоні частот від 0,01 до 0,1 МГц	3 — 16 А/м
- в діапазоні частот від 0,1 до 30 МГц	0,5 – 16 А/м
3. Межі допустимої основної похибки вимірювання ЩПЕ та напруженості Е і Н поля визначеної частоти, дБ	2,7 дБ



## 2.2. Розрахункові методи визначення та прогнозування ефективності засобів захисту для різних частотних діапазонів

Досвід обстежень електромагнітної обстановки будівель і споруд свідчить, що вимірювання щільності потоку енергії на фіксованих частотах не дає повного уявлення про фактичну електромагнітну обстановку.

Вимірювання з покроковою дискредитацією показало, що такі дані не надають інформацію про реальний стан задачі. Перевірка стандартними приладами є досить трудомістка, тому для отримання необхідних даних потрібно вимірювати досліджувані спектри випромінювань частот.

Окремого розгляду потребують розрахункові методи захисту від впливу електромагнітних випромінювань. Розроблений математичний апарат [45].

З точки зору поширення, різних закономірностей зміни з відстанню електричної і магнітної складових електромагнітного поля існують дві зони електромагнітного поля – ближня і дальня.

Ближньою зоною (зоною індукції) вважається простір, який відповідає

відстані до джерела поля  $r < \frac{\lambda}{2\pi}$  ( $\lambda$  – довжина електромагнітної хвилі).

Дальня зона - це зона, яка відповідає умові  $r > \frac{\lambda}{2\pi}$ . Цю зону ще називають хвильовою, через сформованість у ній електромагнітних хвиль. Якщо розглянути електромагнітні поля найбільш розповсюджених у виробничих умовах частот, то довжина хвилі електромагнітного поля промислової частоти 50 Гц складає 6 тис. км, довжина хвилі засобів мобільного зв'язку частот GSM 900 – Wi-Fi – 0,330 – 0,125 м. Це заздалегідь обумовлює різні підходи до захисту від їх впливів. Так, у першому випадку ми знижуємо напруженості електричної та магнітної складових квазістаціонарного поля, а у другому – знижуємо потік енергії, який впливає

на людину. Не випадково, випромінювання ультрависоких і вищих частот нормуються за щільністю потоку енергії ( $\text{мкВт}/\text{см}^2$ ). Відомо, що захист від високочастотних випромінювань технічно простіший, але зі зростанням частоти усе більша частка коефіцієнта екранування припадає на відбиття електромагнітних хвиль, а в умовах наявності внутрішніх джерел випромінювань та різноспрямованих зовнішніх джерел погіршує електромагнітну обстановку у приміщеннях. Особливо це стосується багатоповерхових адміністративних та офісних приміщень. Під час досліджень ми фіксували одночасне функціонування до 12 бездротових комп'ютерних мереж. Формально обмежити їх використання неможливо через те, що використання обладнання, яке працює на частотах 2,1 ГГц, 2,4 ГГц, 5,1 ГГц не має обмежень щодо розміщення, а частоти не підлягають ліцензуванню. Таким чином, розроблення заходів і засобів захисту від випромінювань ультрависоких і вищих частот залишається актуальним. Однак для впровадження спочатку потрібно оцінити ефективність захисту та оцінити зміни електромагнітної обстановки за певних умов. Це можливо реалізувати, використовуючи математичний апарат та програмні засоби.

Розрахунки щодо визначення змін електричної та магнітної складових електромагнітного поля базуються на розв'язанні рівнянь Максвелла. Так, напруженості і потенціали, що характеризують просторовий розподіл магнітного поля, у комплексній формі розраховуються з фундаментального співвідношення:

$$\text{rot } \dot{\mathbf{H}} = (\gamma + j\omega \varepsilon_0 \varepsilon) \dot{\mathbf{E}} + \mathbf{J},$$

де  $\dot{\mathbf{H}}$  - комплексна амплітуда вектора напруженості магнітного поля;  
 $\dot{\mathbf{E}}$  - комплексна амплітуда вектора напруженості електричного поля;  $\mathbf{J}$  - комплексна амплітуда вектора густини струму сторонніх джерел;  $\gamma$  - питома

електропровідність,  $\varepsilon$  - відносна діелектрична проникність;  $\varepsilon_0$  - електрична стала ( $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м);  $\omega$  - колова частота;  $j$  - комплексна одиниця.

Щоб отримати аналітичні функції розрахунку ефективності екранування необхідно визначити напруженість електромагнітної хвилі, що проходить крізь матеріал.

Відомо, що частки коефіцієнта екранування, які припадають на відбиття та поглинання електромагнітної хвилі матеріалом залежать від співвідношення хвильових опорів простору розповсюдження хвилі  $Z_0$  та хвильового опору матеріалу екрана  $Z$ .

При цьому  $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}$ , а  $Z = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\varepsilon}}$ , де  $\sigma$  - провідність матеріалу екрана.

Здійснивши стандартні перетворення, можна отримати значення коефіцієнтів екранування за рахунок відбиття та поглинання:

$$K_{\text{відб.}} = 20 \lg \left( \frac{Z_0}{4Z} \right), \text{ дБ,}$$

тобто, меншому опору матеріалу відповідають більші коефіцієнти відбиття. Щоб знизити коефіцієнт відбиття, потрібно наблизити значення хвильових опорів. Зазвичай опір вільного простору складає 377 Ом.

З наведеного видно, що коефіцієнти відбиття залежать виключно від електрофізичних характеристик матеріалу екрана і не залежать від геометричних (товщини). Щодо коефіцієнтів поглинання, то цей показник є критичним.

При обиранні товщини екрана слід враховувати еквівалентну глибину проникнення хвилі у тіло екрана. Її стандартне визначення - це відстань від поверхні екрана, на якій поле знизиться у  $e$  разів (2,7), тобто 8,7 дБ.

Вона розраховується зі співвідношення:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}$$

А коефіцієнт поглинання визначається як:

$$K_{\text{погл.}} = 20 \lg e^{\frac{\Delta}{\delta}}, \text{ дБ,}$$

де  $\Delta$  - товщина екрана.

Слід зауважити, що хвильовий опір матеріалу екрана теж закладений у глибину проникнення через його електрофізичні властивості.

Для точного розрахунку необхідно розглядати ще одну компоненту загального коефіцієнта екранування - втрати внаслідок багаторазового відбивання електромагнітної хвилі у товщі екрана. Це обумовлюється наявністю границь розділу «вільний простір – матеріал екрана – вільний простір».

Але з практичної точки зору цей внесок не суттєвий, через недоцільність виготовлення екрана великої товщини. Набагато раціональніше буде вибрати матеріал з прийнятними електрофізичними властивостями та виготовити екран малої товщини.

Винятком є резонансні екрани, зроблені таким чином, щоб тонкий шар поглинального провідного матеріалу розташовувався на відстані чверті падаючої електромагнітної хвилі від провідної підкладки. Такі екрани мають дуже добрі поглинальні властивості, але ефективні у дуже вузькій смузі частот.

В даний час багато уваги приділяється металополімерним захисним матеріалам. Як експериментально показано у [36], такі екрани мають складні співвідношення відбивальних та поглинальних властивостей. Їх необхідні параметри можна визначити (принаймні для фіксованої концентрації металевих включень у непровідну матрицю), розраховавши вхідний опір  $Z$ :

$$Z = \frac{Z_1 - jZ_2 \operatorname{tg}(k_1 d)}{Z_2 - jZ_1 \operatorname{tg}(k_2 d)} Z_2,$$

де  $Z_1$  - хвильовий опір металу,  $Z_2$  - хвильовий опір полімеру,  $k$  - хвильові числа,  $d$  - товщина екрана.

Перспективним, на наш погляд, є пошук можливостей враховувати у розрахунках не тільки ваговий вміст металевих включень у непровідний матеріал, а й особливості їх просторового розподілу у тілі екрана. Це надасть змогу поєднати переваги металополімерних та градієнтних екранів для захисту від впливу ЕМП принаймні ультрависоких і вищих частот.

Враховуючи різноманітність режимів роботи радіотехнічного обладнання ЦА, в основному – радіолокаційних станцій (РЛС) зі складними діаграмами спрямованості, для визначення електромагнітного навантаження використовується спеціальна методика розрахунків.

РЛС ЦА працюють у діапазоні ультрависоких і надвисоких частот (УВЧ і НВЧ), тобто частот більше від 300 МГц (або в діапазоні довжин хвиль від дециметрових до міліметрових). В навколишньому просторі такі хвилі поширюються майже прямолінійно, як промінь світла. На характер їх поширення значний вплив чинить поверхня Землі. Частина падаючого на неї потоку електромагнітної енергії розсіюється в просторі, а частина відбивається. У зв'язку з цим поле вбудь-якій точці простору є результатом накладення (інтерференції) поля падаючої і відбитої від земної поверхні хвиль.

На практиці ЩПЕ результуючого поля визначається множенням величини ЩПЕ в падаючому потоці електромагнітної енергії на множник  $\Phi_3$ , що враховує вплив землі. Величина останнього визначається статистично з урахуванням результатів експериментальних досліджень.

Електромагнітній енергії СВЧ- і НВЧ-діапазону притаманна виражена біологічна дія. При систематичній дії електромагнітної енергії на організм

людини рівнями, що перевищують ГДР, спочатку виникають компенсаторно-приспосувальні реакції, які є загальними неспецифічними реакціями організму. При подальшому опроміненні можливий розвиток патологічних змін, але, як правило, вони носять зворотній характер. У випадку, якщо опромінювання є тривалим (протягом багатьох років) виникають незворотні зміни з боку нервової, серцево-судинної і ендокринної систем.

Для охорони працюючих від дії електромагнітної енергії, що випромінюється засобами РЛС ЦА, необхідно здійснювати як попереджувальний санітарний контроль, при проектуванні і будівництві, так і поточний при експлуатації РТО.

Дія на людину електромагнітного поля, створеного РЛС ЦА в зоні їх розміщення носить переривчастий характер, який обумовлений:

- переміщенням в просторі діаграми спрямованості за рахунок обертання антени РЛЮ навколо своєї вісі;
- різним часом перебування людини в зоні дії чинника.

Параметри дії: інтенсивність поля  $P$ , сквапність імпульсного випромінювання, період переривчастості, її тривалість, яка визначається шириною діаграми спрямованості антени в горизонтальній площині  $2\psi_{0,5}$  і швидкістю обертання антени.

В місцях розміщення РТО ЦА і на прилеглих до них територіях при недотриманні санітарно-гігієнічних вимог до розміщення РТО можуть створюватися підвищені рівні енергії електромагнітних хвиль. Рівень енергії, перш за все, залежить від техніко-експлуатаційних характеристик РТО, висоти установки антени над поверхнею землі і рельєфу місцевості.

Виходячи з вище сказаного, можна зробити такі висновки:

1. Дослідження кількісних характеристик електромагнітних випромінювань ультрависоких та вищих частот вимагає окремого підходу до

цієї проблематики. Це пояснюється тим, що джерела цих випромінювань бувають як точкові, так і розосереджені у конкретному приміщенні.

2. Використання стандартних (обов'язкових) нормативів щодо вимірювання рівнів електромагнітних випромінювань є обов'язковим з точки зору їх визначеності, тому, що у відповідних Правилах і Санітарних нормах не прописана практична реалізація цих вимірювань.

3. Враховуючи, що фактичні рівні випромінювань навіть відомих джерел (стандарти GSM-900, GSM-1800, Wi-Fi 2.4 ГГц) не мають фіксованої частоти. Вона відрізняється завжди на кілька герц.

4. Необхідним є дослідження спектра електромагнітних випромінювань у ділянці, найбільш притаманній діючим операторам. Це надасть змогу визначити фактичне електромагнітне навантаження на виробниче середовище у реальних умовах.

5. Для визначення фактичних рівнів впливу на працівників цивільної авіації необхідним є розрахунок інтегральних рівнів випромінювань (в тому числі і дуже високих частот) за умови одночасного функціонування

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ І ЗАСОБІВ ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ

Система санітарно-гігієнічного нормування гранично допустимих рівнів ЕМП для населення в Україні виходить з принципу введення обмежень для конкретних випадків випромінювань як за рівнями, так і за відстанями до їх джерел.

Можна виділити наступні види випромінювань, на які для населення встановлені спеціально розроблені санітарно - гігієнічні норми: елементи систем мобільного зв'язку, всі типи стаціонарних радіотехнічних об'єктів (включаючи радіо- і телевізійні станції, радіолокаційні і радіорелейні станції, земні станції супутникового зв'язку, об'єкти транспорту з базуванням мобільних радіотехнічних засобів, відео-дисплейні термінали та монітори персональних комп'ютерів, СВЧ - печі, індукційні печі).

В основу встановлення ГДР покладений принцип наявності порогу шкідливої дії ЕМП. Як ГДР ЕМП приймаються такі значення, які при щоденному опромінюванні у властивому для даного джерела випромінювання режимах не викликає у населення без обмеження статі і віку захворювань або відхилень в стані здоров'я, що визначаються сучасними методами дослідження в період опромінювання або у віддалені терміни життя після припинення опромінювання.

Основний критерій визначення рівня дії ЕМП як гранично допустимого - дія не повинна викликати у людини навіть тимчасового порушення гомеостазу (включаючи репродуктивну функцію), а також напруження захисних і адаптаційно - компенсаторних механізмів ні в найближчому, ні у



віддаленому періоді часу. Це означає, що як ГДР приймається дробова величина від мінімального рівня електромагнітного поля, здатного викликати абияку реакцію.

Залежно від місця знаходження людини щодо джерела ЕМП, людина може підпадати під дію електричної або магнітної складової поля, або їх поєднанню, а у разі перебування в хвильовій зоні — дії сформованої електромагнітної хвилі. За цією ознакою визначається необхідний критерій контролю безпеки.

Зростання потужності радіолокаторів різного призначення і використання гостроспрямованих антен кругового огляду приводить до значного збільшення інтенсивності ЕМВ СВЧ-діапазону і створює на місцевості зони великої протяжності з високою ГПЕ.

### **3.1. Натурні вимірювання рівнів електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот та визначення умов формування електромагнітної обстановки у виробничих приміщеннях**

Для отримання фактичних даних щодо рівнів електромагнітних випромінювань досліджуваних частот були виміряні їх рівні у виробничих умовах.

Результати вимірювань впливу багатьох джерел на електромагнітну обстановку усередині приміщень наведено у табл. 3.1.1.

*Таблиця 3.1.1*

#### **Інтегральні значення зовнішніх впливів на електромагнітну обстановку у виробничих приміщеннях\***

Висота над поверхнею землі, м	W, мкВт/см <sup>2</sup>	
	у приміщеннях	ГДР
1	2	3
2	0,1	10,00

Продовження таблиці 3.1.1

1	2	3
8	0,3	10,00
162	3,25	10,00
22	4,6	10,00

\*Вимірювання здійснювалися у м. Києві

Результати натурних вимірювань свідчать, що рівні електромагнітних випромінювань (ЕМВ) не перевищують гранично допустимі рівні (ГДР), встановлені національними нормами.

Проведено вимірювання ЕМВ усередині приміщень з фіксованою кількістю джерел, на одній висоті. Результати наведені у табл. 3.1.2. Також були виміряні рівні випромінювань у виробничому середовищі найбільш поширених Wi-Fi роутерів (табл. 3.1.3).

Таблиця 3.1.2

**Рівні електромагнітних випромінювань  
ультрависоких та вищих частот у виробничих приміщеннях**

№ п/п	W, мкВт/см <sup>2</sup>	
	у приміщеннях	ГДР
1	0,18	10,00
2	0,30	10,00
3	0,16	10,00
4	0,84	10,00
5	2,49	10,00
6	8,45	10,00
7	6,11	10,00
8	9,42	10,00

Однозначного зв'язку між рівнями випромінювань базових станцій мобільного зв'язку та фактичною електромагнітною обстановкою у виробничих приміщеннях не встановлено. На даному етапі неможливо виділити внесок того чи іншого джерела випромінювання.

Таблиця 3.1.3

**Рівні випромінювань Wi-Fi роутерів у виробничому середовищі**

№ п/п	Відстань, м	W, мкВт/см <sup>2</sup>	ГДР
1	0,50	16,5	10,00
2	1,00	10,8	10,00
3	2,00	0,62	10,00
4	3,00	0,27	10,00
5	4,00	1,05	10,00
6	5,00	0,41	10,00

Для визначення внеску зовнішніх та внутрішніх випромінювань визначених частот вимірювання проводилися на двох фіксованих частотах – 0,9 та 1,8 ГГц, які відповідають двом стандартам мобільного зв'язку. При цьому у першому випадку зовнішній вплив перебував за межею чутливості приладу. Відстань вимірювання – 1 м від випромінювальної антени на обох частотах.

Площа тестових приміщень була різною, тому нам не вдалося забезпечити повну ідентичність умов експерименту, однак, результат можна вважати прийнятним через високі рівні сигналів на обраній відстані, що забезпечувало мінімальні похибки вимірювань. Результати наведені у табл.3.1.4.

Аналіз отриманих результатів дозволив дійти висновку, що на формування електромагнітної обстановки значний вплив мають матеріали, з яких виготовлені стіни, стеля та підлога виробничих приміщень. Так, для першого приміщення відбиття відсутнє, тому рівень електромагнітного поля

визначається виключно випромінюванням штирьової антени. Для другого приміщення екрануючі матеріали частково відбивають електромагнітні хвилі усередину приміщення, а це значно погіршує електромагнітну обстановку. Таке погіршення визначається довжиною хвилі випромінювання, яка для частоти 1,8 ГГц удвічі менша, ніж для частоти 0,9 ГГц.

Таблиця 3.1.4

**Рівні вимірювань стандартних джерел з наявністю та відсутністю відбиття електромагнітних хвиль, мкВт/см<sup>2</sup>**

№ п/п	Частота, ГГц			
	0,9		1,8	
	Безлунне приміщення	Виробниче приміщення	Безлунне приміщення	Виробниче приміщення
1	10	14	10	18
2	15	20	15	27
3	25	38	25	44
4	50	70	50	75
5	100	124	100	143

Слід очікувати, що виявлений ефект буде ще сильніше проявлятися для частот бездротових мереж Wi-Fi. При цьому він може проявлятися менше через малі потужності таких випромінювачів але, таких мереж у сучасних будівлях може бути від кількох до кількох десятків.

З цього виходить, задачі забезпечення електромагнітної безпеки працюючих потрібно розв'язувати для конкретних будівель або приміщень, але це, по-перше, технічно складно, та, по-друге, економічно не вигідно.

Перевірка кількох сотень телефонів різних виробників та різних років випуску показали, відсутність закономірностей їх випромінювальних властивостей. За однакових умов однакові телефони мають різні випромінювання. Загальною закономірністю є тільки те, що максимальні

рівні випромінювань мають місце під час пошуку зв'язку. Після його встановлення інтенсивність випромінювань різко зменшується, а після з'єднання з абонентом знижується ще. При цьому приблизно для 10 % телефонів навіть після встановлення зв'язку з базовою станцією спостерігається перевищення ГДР, а для частини телефонів (4 % – 5 %) і під час розмови.

Відомо, що вбудованою функцією сучасних засобів зв'язку є значне підвищення власної потужності за зниження рівня зовнішнього сигналу базової станції. Тобто слід очікувати, у випадках часткового екранування приміщення працівники будуть піддаватися впливу випромінювань з боку обладнання, яке безпосередньо наближене до них. Рівні випромінювань мобільних телефонів кількох моделей у таких умовах наведено у табл. 3.1.5 [3].

Слід зазначити, що аналогічні вимірювання, проведені у іншому районі міста Києва, надали дещо інші результати (табл. 3.1.6).

Таблиця 3.1.5

**Рівні випромінювань мобільних телефонів  
у частково екранованих приміщеннях\***

Технічний засіб	Щільність потоку енергії, мкВт/см <sup>2</sup>			
	У приміщеннях		За межами приміщень	
	Пошук зв'язку	Розмова	Пошук зв'язку	Розмова
1	128,00	25,00	15,00	1,64
2	94,00	16,00	23,00	1,24
3	49,00	16,00	18,00	1,02
4	29,00	13,00	12,00	0,97
5	24,00	7,00	9,00	0,12

\* Вимірювання виконувались у приміщеннях з різним ступенем екранізації з використанням поширених телефонів різних виробників.

Наведені у табл. 3.1.5 і табл. 3.1.6 дані отримані одним повіреним приладом з використанням однакової методики вимірювань. Можна дійти висновку про високу критичність рівня зовнішнього сигналу щодо рівнів випромінювань технічних засобів.

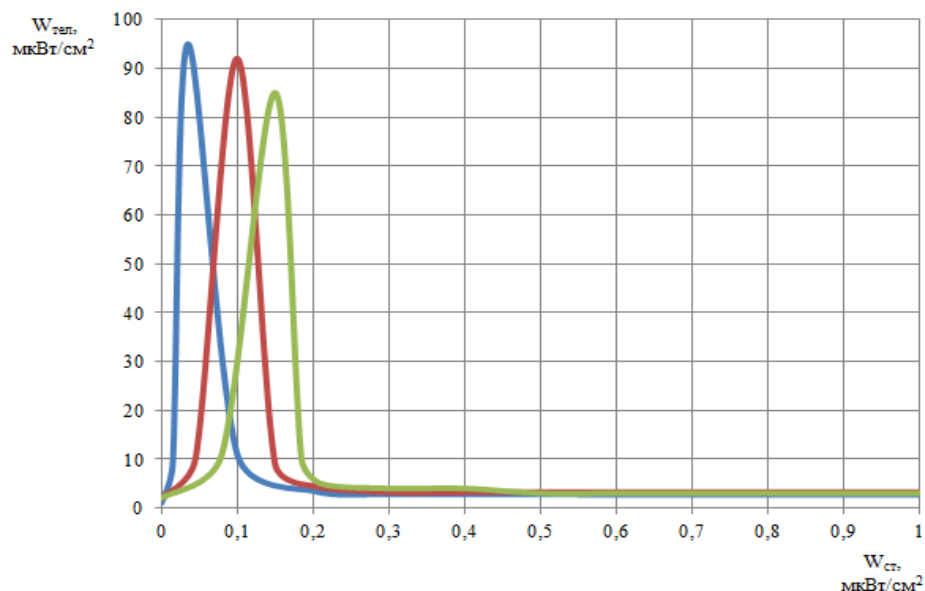
Таблиця 3.1.6

**Рівні випромінювань мобільних телефонів у приміщеннях з частковою екранізацією випромінювань базових станцій**

Технічний засіб	Щільність потоку енергії $W$ , мкВт/см <sup>2</sup>			
	За межами приміщення		У приміщенні	
	Пошук зв'язку	Розмова	Пошук зв'язку	Розмова
1	12	1,24	36	15
2	10	0,06	29	13
3	13	0,06	27	11
4	21	0,08	34	12

Для вироблення критеріїв оптимізації ефективності засобів захисту від впливу випромінювань, що розглядаються, було проведено експериментальні дослідження співвідношення залежності рівнів випромінювань мобільних засобів зв'язку від рівнів випромінювань базових станцій, точок доступу тощо, тобто робочих випромінювань, які забезпечують функціонування мережі зв'язку.

Вимірювання здійснювалися для трьох окремих груп телефонів з близькими технічними характеристиками (рис. 3.1.1).



**Рис. 3.1.1. Типові залежності інтенсивності випромінювань мобільних телефонів від рівня сигналу з боку базових станцій**

Отримані результати свідчать, що екранування зовнішніх ЕМВ потрібно здійснювати таким чином, щоб принаймні випромінювання робочих частот не зменшувалися нижче за 0,2 мкВт/см<sup>2</sup>. Це мінімізує як зовнішній вплив електромагнітних полів на працюючих, так і випромінювань технічних засобів, якими вони користуються.

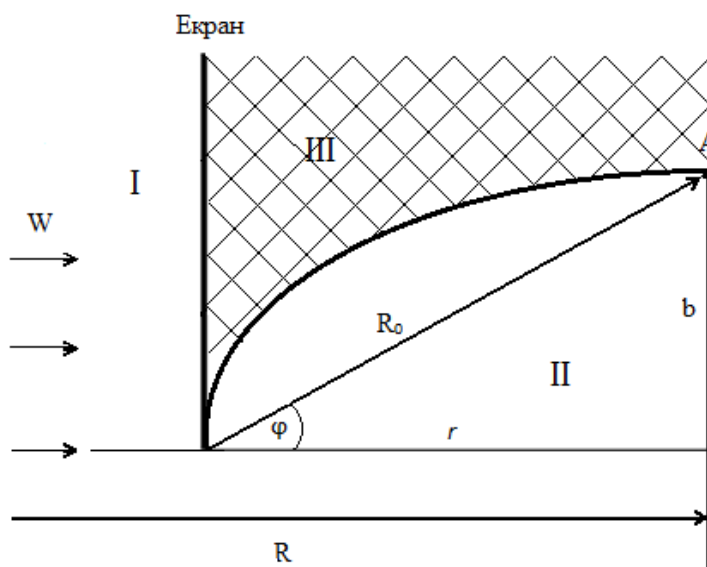
Таким чином, для зниження такого впливу на працюючих в умовах необхідності забезпечення надійного зв'язку для виробничих потреб необхідно розробити механізм раціоналізації або навіть оптимізації заходів захисту працюючих.

### **3.2. Дослідження особливостей та ефективності екранування**

Головна особливість впливу електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот на працюючих полягає в тому, що вони постійно перебувають у хвильовій зоні поля відносно його джерела, тому при розгляді розміщення електромагнітного екрана необхідно враховувати закономірності поширення

електромагнітних хвиль – в основному їх перерозподіл за рахунок відбиття та дифракційні явища на краях екранів кінцевих розмірів. Додатково потрібно отримати конкретні розрахункові дані і відповідний математичний апарат, придатний для використання у працезохоронній практиці.

Потрібно розглянути крайові явища для визначення зон гарантованих коефіцієнтів екранування. Відомо, що геометричне місце точок однакових параметрів поля є парабола. Доцільно розглянути потужність, яка передається в такі точки від віддалених джерел. Це надає змогу зв'язати потужність джерела випромінювання з фактичними рівнями впливу на працюючих. Зручність такого підходу пояснюється тим, що потужності випромінювань РТО з критичними рівнями (наприклад у цивільній авіації) відомі. Схематично розподіл щільності потоку енергії біля екрана наведено на рис. 3.2.1.



**Рис. 3.2.1. Розподілення електромагнітного поля поблизу екрана:**

$W$  – потік електромагнітного випромінювання; I – вільний простір; II – напівтінь; III – зона повної тіні; A – точка визначення щільності потоку енергії.

Ця парабола описується співвідношенням:



$$P_{cp} = \frac{\theta \lambda}{4(1 - \cos \theta)},$$

де  $P_{cp}$  – середня потужність випромінювання передавача;  $\lambda$  - довжина хвилі ЕМВ;  $\theta$  - кут між напрямком випромінювання та напрямком від краю екрана до точки визначення рівня випромінювання.

Значення  $\theta$  розраховується зі співвідношення:

$$\theta = \frac{P_{cp} G}{32\pi^2 R^2 W}$$

де  $R$  – відстань до джерела випромінювання;  $G$  – коефіцієнт підсилення потужності антени передавача (відомо з технічної документації на передавач);  $W$  - щільність потоку енергії у точках параболі.

Таким чином, на рис. 3.2.1 показана екіпотенціальна поверхня поблизу геометричної межі тіні від екрана. Дифракція найбільше проявляється в області напівтіні, особливо поблизу осі параболі.

З точки зору захисту працюючих найбільший інтерес становить відхилення хвилі  $b$ , яка визначається зі співвідношення:

$$b = R_0 \sin \varphi,$$

А фактичний рівень випромінювання у точці А буде дорівнювати  $P_A$ . Повний вигляд співвідношення щодо потужності випромінювання енергії у будь-якій точці за екраном можна розрахувати зі співвідношення:

$$P = \frac{P_{cp} G \lambda}{128\pi^2 R^2 W} \cdot \frac{\sin \varphi}{1 - \cos \varphi}.$$

Таким чином є можливість визначення не тільки щільності потоку енергії у будь-якій точці за екраном, а й фактично поглинену потужність яка регламентується чинним міжнародним нормативним актом з електромагнітної безпеки (SAR).

Для інтенсивних передавачів, якими є, наприклад, РТО ЦА врахування відбиття є обов'язковим через великі інтенсивності випромінювань. Багато

джерел випромінювань ЦА працюють у імпульсному режимі, тому їх середні інтенсивності визначаються зі співвідношення:

$$P_{cp} = P_{имп} \tau T,$$

де  $\tau$  - тривалість імпульсу,  $T$  – період повторення.

Дані щодо режимів роботи імпульсних джерел можна отримати не тільки з технічної документації РТО. Вони у повному обсязі наведені у загальних національних нормативних актах з електромагнітної безпеки [5, 6]. В усіх випадках треба враховувати особливості формування спрямованого випромінювання - коефіцієнти підсилення антен та відстань від джерела до точки визначення рівня випромінювання:

$$W = \frac{P_{cp} G}{4\pi R^2}.$$

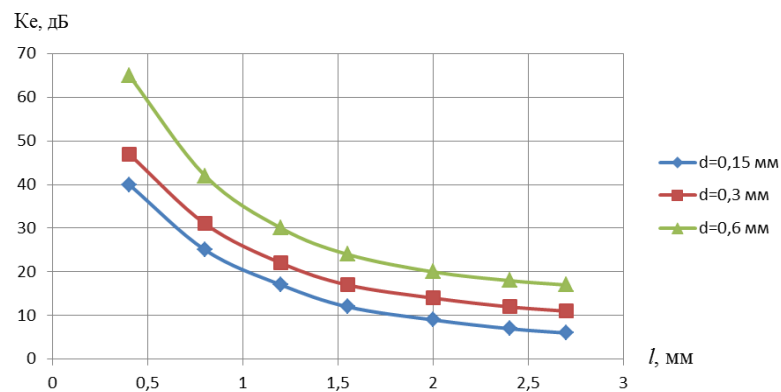
Цей вираз можна використовувати у випадку розповсюдження радіохвиль у вільному просторі, заповненому ідеальним діелектриком (повітрям).

З метою зниження негативного впливу таких випромінювань (розташованих на дахах будівель) на персонал з обслуговування радіолокаційної станції потрібно застосовувати електромагнітні екрани з тонколистової електротехнічної сталі, які розміщуються безпосередньо біля антени, не впливаючи на робочий пелюсток діаграми спрямованості. Екран направлений у напрямку перебування людей.

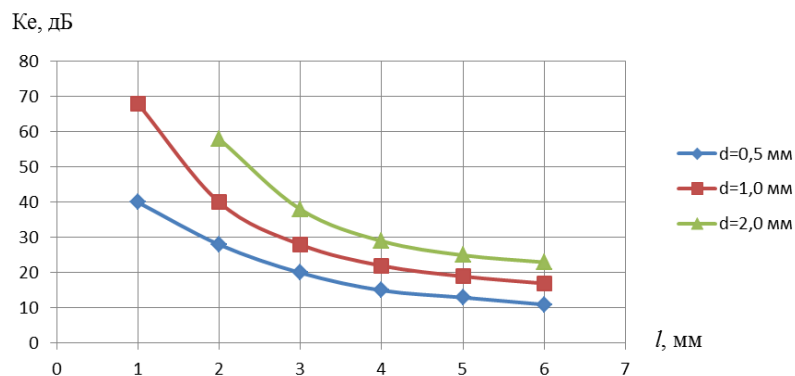
У багатьох випадках потребує захисту персонал, який знаходиться безпосередньо поблизу генераторів ультрависоких і вищих частот. При цьому захисні конструкції повинні мати технологічні отвори.

### 3.3. Дослідження ефективності електромагнітних екранів з регулярною провідною структурою, методи її визначення та засоби підвищення захисних властивостей

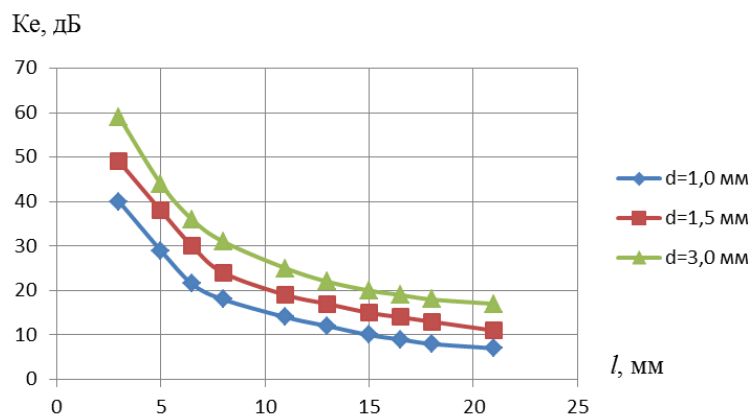
Найбільш поширеними електромагнітними екранами з регулярною структурою є екрануючі поверхні, виготовлені у вигляді сіток, але відомості щодо коефіцієнтів екранування таких поверхонь дещо не однозначні. Особливостями таких конструкцій стосовно захисту від електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот є те, що цей показник практично не залежить від металу або сплаву з яких вони виготовлені. Зазвичай при їх розробленні і виготовленні спираються на економічні міркування. Результати натурних вимірювань захисних властивостей металевих сіток для найбільш поширених довжин хвиль, що використовуються РТО, наведено на рис. 3.3.1-3.3.3.



**Рис.3.3.1. Залежність коефіцієнта екранування від параметрів металеві сітки  $\lambda = 0,03$  м (довжина хвилі);  $l$  – розмір комірки сітки;  $d$  – діаметр дротів.**



**Рис.3.3.2. Залежність коефіцієнта екранування від параметрів металеві сітки  $\lambda = 0,1$  м (довжина хвилі);  $l$  – розмір комірки сітки;  $d$  – діаметр дротів.**



**Рис.3.3.3. Залежність коефіцієнтів екранування електромагнітного випромінювання частотою 0,9 ГГц від розміру комірки сітчастої структури, виготовленої з дротів діаметрами 1,0 мм, 1,5 мм, 3,0 мм**

Отримані залежності не є універсальними і їх не можна використовувати у багатьох випадках для захисту від випромінювань інших частот. Причина в тому, що відбувається постійна зміна (в основному - збільшення) робочих частот обладнання бездротового зв'язку, керування рухом транспортних засобів тощо.

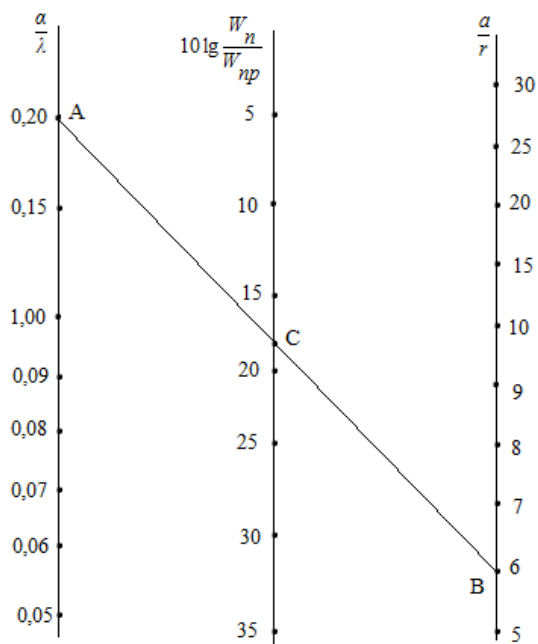
Для визначення захисних властивостей сітчастих електромагнітних екранів здійснюються наступним чином. З'єднується точка шкали, яка враховує розміри співвідношення розміру комірки і довжини хвилі ( $A$ ) та точка шкали, яка враховує співвідношення розміру комірки та радіус дротів. У точці  $C$  ми отримуємо значення коефіцієнта екранування у відносних одиницях (дБ) (рис. 3.3.4). Наведена номограма дає можливість розроблення електромагнітного екрана потрібної ефективності, виходячи з номенклатури сіток, які виробляються у промисловості або дротів необхідних для виготовлення такого екрана. Дану номограму можна використовувати для прогнозування електромагнітної обстановки у захищеній зоні або проектування електромагнітного екрана із заданими захисними властивостями. [6].

Але у багатьох випадках, в зв'язку з близьким розташуванням джерел випромінювань до працюючих, розглянуті конструкції не забезпечують достатнього рівня захисту [7].

Для розв'язання задачі підвищення ефективності електромагнітних екранів можна використати два шляхи.

Перший – знизити рівень загального ЕМВ деякої смуги частот, внаслідок чого випромінювання певної критичної частоти знижується найбільше, за рахунок спеціальних конструктивних рішень.

Другий – використання перфорованих екранів з визначеною щільністю розміщення та геометричними характеристиками отворів.



**Рис. 3.3.4. Номограма для визначення послаблення ЕМВ  
ультрависоких і вищих частот металевими сітками:**

$\lambda$  - довжина падаючої електромагнітної хвилі;  $a$  – лінійні розміри квадратної комірки;  $r$  - радіус дротів, з яких виготовлено сітку;

$W_n$  – щільність потоку енергії падаючого випромінювання;

$W_{np}$  – щільність потоку енергії випромінювання, яке пройшло крізь сітку.

Потрібно взяти до уваги, що навіть випромінювання базових станцій мобільного зв'язку, а тим більше іншого радіоелектронного обладнання не можна вважати монохромним, тобто дані випромінювання мають хоча і вузьку, але деяку смугу частот.

Найбільший інтерес викликає перфорований електромагнітний екран з регулярним розташуванням круглих або прямокутних отворів. Обумовлено, по-перше, тим, що такі отвори використовуються для технологічних потреб, вентиляції, оглядових вікон, вводу кабелів до генераторів випромінювання тощо. По-друге, металеві листи, з яких виготовлено такий екран, мають хоча і малу, але певну товщину, що дозволяє розглядати їх як хвилеводи невеликої

глибини, крім того глибина може бути збільшена за рахунок технологічних рішень.

Тому, до початку проектування електромагнітного екрана необхідно провести вимірювання частотно-амплітудних характеристик електромагнітного випромінювання, яке потребує екранування, та визначення просторових закономірностей його поширення. За допомогою розрахункових методів, наприклад у роботі [8] необхідні параметри хвильових електромагнітних полів визначаються на основі сферичного гармонічного аналізу з прийнятними припущеннями і спрощеннями.

Випробування електромагнітних екранів, виготовлених на основі запропонованих підходів, довели їх високу ефективність як у виробничих, так і у побутових умовах.

#### **3.4. Рекомендації щодо дотримання вимог санітарно-захисних зон і зон обмеження забудови з умов електромагнітного випромінювання**

Майданчики для розміщення проектованих РТО необхідно вибирати з урахуванням потужності передавачів, характеристик спрямованості випромінювання, висоти розташування і конструктивних особливостей антен, рельєфу місцевості, функціонального призначення прилеглих територій, висоти забудови для того, щоб рівні ЕМП на території, призначеній для забудови, не перевищували ГДР, наведених вище.

На площадці розміщення РТО будівництво житлових і громадських будинків не допускається.

Санітарно-захисні зони і зони обмеження забудови встановлюються у напрямку випромінювання ГПЕ для передавальних РТО, обладнаних антенами спрямованої дії, а також для радіолокаційних станцій (РЛС), антени, які сканують тільки у визначеному секторі чи фіксовані в одному

напрямку. При цьому необхідно обмежити зону дії бічних і задніх пелюстків діаграми випромінювання антени.

Рівень ЕМП на території, призначеній для забудови, в приміщеннях житлових і громадських будинків, лікувально-профілактичних, оздоровчих, дитячих дошкільних і шкільних закладів, в будинках інвалідів і престарілих, в місцях відпочинку, на дитячих і спортивних майданчиках і т.п., не повинен перевищувати ГДР.

В окремих випадках допускається розміщення антен передавальних радіотехнічних засобів на дахах житлових, громадських та інших будинків, а також передавачів на дахах не житлових виробничих будинків.

Майданчик РТО (технічна територія) обладнується відповідно до будівельних норм і правил. На його території не допускається розміщення житлових та громадських будинків.

Засоби захисту працівників від дії електромагнітних полів досягаються шляхом проведення організаційних, інженерно-технічних заходів, а також використання засобів індивідуального захисту.

До організаційних заходів належать: вибір раціональних режимів праці установок, обмеження місця і часу перебування персоналу в зоні опромінювання і т.ін.

Інженерно-технічні заходи включають раціональне розміщення обладнання, використання засобів, які обмежують надходження електромагнітної енергії на робочі місця персоналу (поглинальні матеріали екранування).

До засобів індивідуального захисту належать захисні окуляри, щитки, шоломи, захисні комбінезони, халати з металовмісної тканини, окуляри з металовмісним склом).

Засоби захисту в кожному конкретному випадку повинні визначатись з урахуванням робочого діапазону частот, характеру робіт, необхідної ефективності захисту.



У діапазонах частот 50 Гц, 1кГц - 300 МГц (розробка, використання, випробування, експлуатація установок для термообробки матеріалів, засобів зв'язку, фізіотерапевтичної апаратури) захист персоналу здійснюється шляхом:

- раціонального розміщення установок;
- екранування установок, окремих блоків (генераторні шафи, конденсатори, погоджувальні високочастотні трансформатори, повітряні лінії передачі енергії, робочі елементи), робочих місць, а в разі проникнення електромагнітної енергії в приміщення з території антенних полів - екранування окремих частин будинків. Екрани залежно від діапазону частот ЕМП виготовляються з алюмінію і алюмінієвих сплавів, міді і її сплавів, сталі, пермалою та ін. у вигляді листів або сітки. Розміри і конструкція екранів визначаються видом ЕМП, особливостями технологічного процесу, характеристиками блоку, який екранується, необхідною ефективністю екранування і допустимими витратами енергії в екрані. Екрани повинні мати добрий електричний контакт між частинами, що їх складають, надійне заземлення і електроблокування;
- використання коаксіальних ліній передачі енергії;
- поліпшення електричного контакту між окремими елементами (блоками) установок;
- віддалення робочих місць від джерел ЕМП і застосування у разі виробничої необхідності дистанційного керування установками;
- автоматизації окремих операцій виробничого процесу;
- усунення паразитних наводок і перевипромінювання енергії на фідерні лінії, електромережні проводи, опалювальні пристрої, водопровідні труби.

У діапазоні 0,3-300 ГГц при регулюванні, настроюванні і випробуванні радіотехнічної апаратури в приміщеннях захист працівників забезпечується шляхом:

- виключення або обмеження в приміщеннях роботи установок з випромінюванням на антену або відкритий хвилевід;
- екранування джерел випромінювання на робочих місцях;
- застосування засобів індивідуального захисту.

Виключення або обмеження випромінювання від антенних систем або відкритих хвилеводів забезпечується застосуванням:

- при налагодженні високочастотної апаратури - еквівалентних навантажень;
- при перевірці робіт приймальних, індикаторних, обчислювальних систем та систем керування - імітаторів мети;
- при обробці ліній передачі енергії і антенних пристроїв - хвилеводів з використанням антенно-хвилеводних трактів вимірювальних генераторів.

Екранування джерел випромінювання або робочих місць здійснюється за допомогою відбивальних екранів (табл.3.4.1) (стаціонарних або пересувних). Відбивальні екрани виготовляються з металевих листів, сітки, бавовняної металовмісної тканини та ін. У поглинальних екранах використовуються спеціальні матеріали, що забезпечують поглинання випромінювання відповідної довжини хвилі. Залежно від потужності випромінювання і взаємного розміщення джерела і робочих місць конструктивне вирішення екранів може бути різним (замкнута камера, щит, чохол, штора та ін).

При виготовленні екрана для джерела випромінювання у вигляді замкненої камери вводи хвилеводів, коаксіальних фідерів, води, повітря, виводи ручок керування елементів настроювання не повинні порушувати екранувальних властивостей камери.

Екранування оглядових вікон, прикладних панелей проводиться за допомогою радіозахисного скла. Для зменшення просочування електромагнітної енергії крізь вентиляційні жалюзі останні екрануються металевою сіткою або виконуються у вигляді кінцевих хвилеводів.

Зменшення витоків енергії з фланцевих суглобових хвилеводів досягається шляхом застосування "дросельних фланців", ущільнення суглобів за допомогою прокладок, що є провідниками (фосфориста бронза, мідь, алюміній, свинець та інші метали), і поглинальних матеріалів, здійсненням додаткового екранування.

Засоби індивідуального захисту слід використовувати при ГПЕ ЕМП вище  $1000 \text{ мкВт/см}^2$ . Вибір засобів захисту (окуляри, щитки, шолом, одяг) визначається конкретними умовами опромінювання. Якщо захисний одяг виготовлений з матеріалу, який містить у своїй структурі металевий дріт, він може використовуватись тільки в умовах, які унеможливають доторкання до відкритих струмопровідних частин.

Для зниження рівня опромінювання території об'єкта слід:

- антени станції розмішувати на насипах (естакадах) або природних пагорбах;
- обмежувати використання від'ємних кутів нахилу антени.

Службові приміщення на території об'єкта слід розмішувати переважно в місцях, захищених від ЕМП ("радіотінь", "мертва зона"), орієнтувати так, щоб було унеможливлене опромінювання вікон і дверей, у разі необхідності треба їх екранувати.

Маршрути руху персоналу на території об'єкта слід установлювати таким чином, щоб унеможливити опромінювання при рівнях, що перевищують гранично допустимі.

Зони випромінювання з ГПЕ вище  $10 \text{ Вт/м}^2$  ( $1000 \text{ мкВт/см}^2$ ) повинні бути позначені спеціальними попереджувальними знаками.

При необхідності проведення робіт у зоні випромінювання антен з рівнями ЕМП, вище допустимих, повинні застосовуватись пересувні захисні екрани і засоби індивідуального захисту.

Планування і забудова в місцях розміщення діючих РТО повинні здійснюватись з урахуванням меж санітарно-захисної зони і зони обмеження

забудови. В районі проєктованих РТО, та таких РТО, що реконструюються -з урахуванням меж цих зон, встановлених у затвердженому проєкті будівництва або реконструкції РТО.

Територію зони обмеження забудови дозволяється використовувати для розміщення забудови різного функціонального призначення за умови дотримання в місцях перебування населення ГДР відповідно до вимог, визначених Правилами.

З цією метою, в існуючій чи проєктованій забудові необхідно вжити захисні заходи, які забезпечують зниження рівня ЕМП до нормативних значень з урахуванням можливих перевипромінювань.

У зоні обмеження забудови будівлі лікувально-профілактичних установ зі стаціонарами, оздоровчих, дитячих дошкільних і шкільних закладів, будинків інвалідів і престарілих потрібно розміщувати на ділянках території, де створюється радіо-тінь.

При розробці проєкту планування і забудови, в зоні обмеження забудови проєктна організація повинна передбачити заходи щодо зниження в житлових, громадських та інших будинках рівнів ЕМП, створюваних за рахунок перевипромінювачів, якими є металеві конструкції. Рівень ЕМП при цьому не повинен перевищувати нормативні значення, встановлені визначеними Правилами.

При розміщенні об'єктів громадського будівництва в зоні обмеження забудови слід враховувати можливість зниження рівня ЕМП на майданчиках відпочинку та спорту за рахунок екрануючого ефекту будинків і споруд, а в приміщеннях за рахунок розташування житлових, громадських і промислових будинків торцем або фасадом з якнайменшою площею заклення до джерела ЕМП. При необхідності розташування будинків фасадом до джерела, можна використовувати будинки галерейного типу, орієнтовані житловими приміщеннями у бік, протилежний від джерела випромінювання.

При проектуванні забудови, в зоні обмеження забудови необхідно передбачати густоту житлового фонду за нижньою межею будівельних норм і правил.

У зоні обмеження забудови рекомендується передбачати спорудження огорожувальних конструкцій і покрівель житлових, громадських і промислових будинків із матеріалів з високими радіо-екрануючими властивостями (наприклад, із залізобетону), або з покриттям, заземленою металевою сіткою. Крім того, слід враховувати можливість застосування захисних стінок, піддашся, глибоких лоджій тощо.

Територія зони обмеження забудови повинна бути озеленена. Площа твердого покриття проїздів, тротуарів і пішохідних доріжок повинна бути мінімальною. Перевагу слід надавати піщаним, ґрунтовим або гравійно-щебеним покриттям

Розміщення проєктованих РТО виробляється з урахуванням:

- потужності випромінювання енергії передавача;
- висоти розміщення і конструкції антени;
- рельєфу місцевості;
- функціонального призначення територій, що примикають;

Реконструкція населених територій, що примикають до джерел випромінювання електро-магнітної енергії – один з кардинальних шляхів біологічного захисту. Містобудівна реконструкція повинна передбачати винесення з СЗЗ усіх житлових і адміністративних будинків, шкіл, гуртожитків, дитячих установ, а будинки, що залишилися, повинні бути додатково захищені до гранично допустимих рівнів електромагнітних полів.

Реконструкція населених територій повинна передбачати насадження захисних смуг і обов'язкове збереження існуючих зелених насаджень по всій площі санітарно-захисної зони.

**Матеріали для виготовлення засобів захисту від впливу ЕМП у  
діапазоні частот 30 МГц...40ГГц**

Найменування матеріалу	ДСТ, ТУ	Розміри, мм	Ослаблення, дБ
Металевий лист, Ст.3	ДСТ19903-74	20×1000×1,4	100
Фольга алюмінієва рулонна	ДСТ 618-73	Шир. 460...600	80
Фольга мідна рулонна	ДСТ 5638-75	Шир.20...150 товщ.0,8	80
Сітка сталева тканна	ДСТ 5336-73	Товщ.0,3...1.....1,3	30
Радіозахисне скло з напівпровідним покриттям з однієї чи двох сторін	ТУ-21-54-41-79	1000×2000×6	20...40...40
Тканина бавовняна з мікропровідом, арт. 6911	ОСТ 17-28-70	Шир. 930	20...40

Коефіцієнти екранування усіх існуючих захисних матеріалів, їх переваги та недоліки визначені експериментальним шляхом та наведені у табл. 3.4.2.

Таблиця 3.4.2

№ п\п	Матеріал	Частотні діапазони	Коефіцієнти екранування	Примітки
1	2	3	4	5
	Електротехнічні сталі	наднизькі частоти	2-5	Велика вага, розбіжності властивостей для сталей різних класів найбільш ефективні на частотах 6-7 кГц
		низькі частоти	9-10	
		ультрависокі і вищі частоти	50-900	
2	Пермалої	наднизькі частоти	8-12	Досить велика вартість, катастрофічне зниження захисних властивостей у результаті деформації
		низькі, високі частоти	22-35	
		ультрависокі і вищі частоти	80-1000	
3	Аморфні магнітом'які сплави	наднизькі, низькі частоти	8-22	Велика вартість, неможливість створення суцільних поверхонь великих площ
		Високі частоти	40-300	
		ультрависокі вищі частоти	400-1000	

1	2	3	4	5
4	Металополімерні матеріали	наднизькі, низькі, високі, ультрависокі і вищі частоти	10-1400	Можлива деградація полімерної матриці за температурних і оптичних впливів; можливо виготовити матеріал с потрібним коефіцієнтом екрануванням
5	Багатошарові структури	ультрависокі і вищі частоти	20-10000	Прийнятні для чітко визначеної частоти випромінювання; проблема - адгезії шарів та деградація діелектричної компоненти; велика вартість через складну технологію виготовлення.
6	Регулярна металева структура*	ультрависокі і вищі частоти	15-10000	Ефективні виключно для ультрависоких і вищих частот

Примітка:

Наведено гарантовані усереднені значення для частотного діапазону, коефіцієнтом екранування вважаємо відношення напруженості магнітного поля та густини потоку енергії перед екраном до відповідного показника у захищеній зоні.

\*Гратчасті або сітчасті металеві матеріали з постійним кроком металевих елементів та розміром комірки сіток.



## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Кожний тип випромінювання має особливості фізичного характеру і біологічної дії. Ступінь негативної дії електромагнітних полів НВЧ залежить від інтенсивності опромінення, часу його дії, відстані до джерела, довжини хвилі і індивідуальних особливостей людини. Надвисокочастотна енергія, яка падає на поверхню тіла людини, частково відбивається, а поглинена енергія проходить у поверхневі тканини на глибину 2-3 см. Ступінь відбивання від поверхні тіла людини залежить від товщини жирового складу в ділянці, що опромінюється. Такі органи, як головний і спинний мозок мають незначний жировий шар, а очі – зовсім його не мають і, як результат, ці органи, в першу чергу, зазнають найбільшого впливу.

Біологічна активність електромагнітних полів (ЕМП) збільшується зі зменшенням довжини хвилі; найвища активність ЕМП – в області НВЧ. Так, наприклад, у початковій фазі спостерігається підвищене збудження, а потім зниження біоелектричної активності мозку, порушення умовно-рефлекторної діяльності, погіршення роботи серцевого м'язу. Функціональні порушення в ранній стадії, які викликані біологічною дією електромагнітних полів, зникають, якщо заборонити використання НВЧ випромінювання або поліпшити умови праці. Вивчаючи умови праці в галузі, гігієністи прийшли до висновку, що робітники-розробники НВЧ-приладів і установок, в більшій мірі зв'язані з мікрохвильовим опроміненням, яке при певних умовах може викликати професійне захворювання.

Довготривала і систематична дія НВЧ-енергії на працівників з інтенсивністю, що перевищує граничнодопустимі величини, призводить до функціональних змін в організмі. Ці зміни проявляються в порушенні складу

нервової та серцево-судинної системи: з'являється головний біль, дратівливість, порушується сон, гальмується пульс, підвищується тиск; при опроміненні очей можлива катаракта (помутніння кришталика ока). Дія на організм людини НВЧ високої інтенсивності пов'язана в основному з тепловим ефектом і призводить до підсилення кровотоку в органах, що запобігає їх надлишковому перегріванню [44].

Електромагнітна сфера нашої планети визначається, в основному, електричним ( $E=120-150$  В/м) і магнітним ( $H=24-40$  А/м) полями Землі, атмосферним електричним радіовипромінюванням Сонця і галактик, а також полями штучних джерел. Діапазон природних і штучних полів дуже широкий: починаючи від постійних магнітних і електростатичних полів і кінчаючи рентгенівським і гамма-випромінюванням частотою  $3 \times 10^{21}$  Гц і вище. Кожний з діапазонів електромагнітних випромінювань по-різному впливає на розвиток живого організму. У відмінність від світлового, інфрачервоного й ультрафіолетового випромінювань ще не знайдено відповідних рецепторів для ЕМВ інших діапазонів.

Маються деякі факти про безпосереднє сприйняття клітинами мозку ЕМВ радіочастотного діапазону, про вплив низькочастотних ЕМВ на функції головного мозку, які вимагають додаткового підтвердження.

Джерелами електромагнітних випромінювань радіочастот є потужні радіостанції, генератори надвисоких частот, установки індукційного і діелектричного нагрівання, радари, вимірювальні і контролюючі пристрої, дослідницькі установки, високочастотні прилади і пристрої в медицині та побуті. Джерелом електростатичного поля й електромагнітних випромінювань у широкому діапазоні частот (понад - та інфранизькочастотному, радіочастотному, інфрачервоному, видимому, ультрафіолетовому, рентгенівському) є персональні електронно-обчислювальні машини (ПЕОМ і відеодисплейні термінали (ВДТ) на електронно-променевих трубках, які використовуються як у промисловості

та наукових дослідженнях, так і в побуті. Небезпеку для користувачів являє електромагнітне випромінювання монітора в діапазоні частот 20 Гц-300 МГц і статичний електричний заряд на екрані.

Джерелами електромагнітних полів промислової частоти є будь-які електроустановки і струмопроводи промислової частоти. Чим більше струм, що протікає в них, тим вище інтенсивність полів.

#### **4.1. Вимоги до виробничих приміщень і розташування обладнання**

Приміщення, у яких розміщуються установки, які є джерелами ЕМП, повинні відповідати вимогам діючих санітарних норм щодо проектування промислових підприємств і за своїм планувальним рішенням відповідати характеру виконуваних у них технологічних процесів. Рівні освітлення, опалення і вентиляції приміщень повинні відповідати вимогам будівельних норм і правил.

Метеорологічні умови в приміщеннях, наявність у повітрі робочої зони шкідливих речовин, рівень шуму, а також інших несприятливих факторів виробничого середовища повинні відповідати вимогам, указаним у відповідних нормативних документах, затверджених Міністерством охорони здоров'я України.

Устаткування, які є джерелами ЕМП, залежно від конструкції, призначення, потужності й умов використання, можуть розміщуватись як в окремих, спеціально призначених приміщеннях, так і в загальних приміщеннях, включаючи розміщення в поточних лініях, при дотриманні вимог розділу 4 санітарних норм і правил.

При розміщенні устаткування і організації робіт щодо його обслуговування слід, крім цих санітарних норм та правил, також керуватись:

- будівельними нормами і правилами;

- правилами влаштування електроустановок;
- правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів і правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів. Захисні засоби повинні відповідати вимогам правил використання і випробування захисних засобів, які використовуються в електроустановках.

При розміщенні в одному приміщенні декількох установок треба унеможливити перевищення ГДР при сумарній енергії випромінювання.

У разі можливого проходження електромагнітної енергії через будівельні конструкції в сусідні приміщення повинні вживатись заходи, які унеможливають опромінювання працівників при рівнях, які перевищують гранично допустимі для відповідних категорій опромінювання.

Допускається при погодженні з органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду проведення робіт щодо настроювання і регулювання апаратури, яка є джерелом ЕМП, в екранованих приміщеннях. Робочі площі та об'єми екранованих приміщень повинні встановлюватись, виходячи з габаритів оброблюваних виробів, з урахуванням вимог безпеки при роботі з високою напругою і санітарних норм проектування промислових підприємств. Для унеможливлення перевищення ГДР за рахунок відбитого випромінювання стіни, стелю і підлогу екранованих приміщень необхідно покривати матеріалами, що поглинають ЕМВ до допустимих рівнів.

У разі спрямованого випромінювання допускається застосування поглинальних покриттів тільки на відповідних ділянках стін. В екранованих приміщеннях повинні вживатись заходи з компенсації нестачі природного світла ультрафіолету, змін газового й аероіонного складу повітря та ін. відповідно до вимог санітарних норм і правил[8].

## **4.2. Засоби захисту працівників від дії електромагнітних полів**

Засоби захисту слід використовувати при всіх видах робіт, якщо умови останніх не відповідають вимогам розділу 4 цих санітарних норм і правил.

Захист персоналу від дії ЕМП досягається шляхом проведення організаційних, інженерно-технічних заходів, а також використання засобів індивідуального захисту.

До організаційних заходів належать: вибір раціональних режимів праці установок, обмеження місця і часу перебування персоналу в зоні опромінювання і т. ін.

Інженерно-технічні заходи включають раціональне розміщення обладнання, використання засобів, які обмежують надходження електромагнітної енергії на робочі місця персоналу (поглинальні матеріали, екранування).

До засобів індивідуального захисту належать захисні окуляри, щитки, шоломи, захисний одяг (комбінезони, халати з металовмісної тканини; окуляри з металовмісним склом).

Засіб захисту в кожному конкретному випадку повинен визначатись з урахуванням робочого діапазону частот, характеру робіт, необхідної ефективності захисту.

Особи (фахівці), які проводять дослідження електромагнітних випромінювань, повинні мати засоби індивідуального захисту від впливу ЕМВ.

На кожний засіб захисту повинна бути складена технічна документація з відміткою про призначення та діапазон частот, у яких цей засіб захисту може бути використаний, допустимої потужності розсіювання, забезпеченої ефективності захисту за всім діапазоном частот, на який розраховано використання даного засобу.

У діапазонах частот 50 Гц, 1 кГц - 300 МГц (розробка, використання, випробування, експлуатація установок для термообробки матеріалів, засобів зв'язку, фізіотерапевтичної апаратури) захист персоналу здійснюється шляхом:

- раціонального розміщення установок;
- екранування установок, окремих блоків (генераторні шафи, конденсатори, погоджувальні височастотні трансформатори, повітряні лінії передачі енергії, робочі елементи), робочих місць, а в разі проникнення електромагнітної енергії в приміщення з території антенних полів - екранування окремих частин будинків.

Екрани залежно від діапазону частот ЕМП виготовляються з алюмінію і алюмінієвих сплавів, міді і її сплавів, сталі, пермалою та ін. у вигляді листів або сітки. Розміри і конструкція екранів визначаються видом ЕМП, особливостями технологічного процесу, характеристиками блоку, який екранується, необхідною ефективністю екранування і допустимими витратами енергії в екрані. Екрани повинні мати добрий електричний контакт між частинами, що їх складають, надійне заземлення і електроблокування;

- використання коаксіальних ліній передачі енергії;
- поліпшення електричного контакту між окремими елементами (блоками) установок;
- віддалення робочих місць від джерел ЕМП і застосування у разі виробничої необхідності дистанційного керування установками;
- автоматизації окремих операцій виробничого процесу;
- усунення паразитних наводок і перевипромінювання енергії на фідерні лінії, електромережні проводи, опалювальні пристрої, водопровідні труби.

У діапазоні 0,3-300 ГГц при регулюванні, настроюванні і випробуванні радіотехнічної апаратури в приміщеннях захист працівників забезпечується шляхом:

- виключення або обмеження в приміщеннях цехів роботи установок з випромінюванням на антену або відкритий хвилевід;

- екранування джерел випромінювання на робочих місцях;

- застосування засобів індивідуального захисту.

Виключення або обмеження випромінювання від антенних систем або відкритих хвилеводів забезпечується застосуванням:

- при налагодженні високочастотної апаратури - еквівалентних навантажень;

- при перевірці робіт приймальних, індикаторних, обчислювальних та систем керування - імітаторів мети;

- при обробці ліній передачі енергії і антенних пристроїв - хвилеводів з використанням антенно-хвилеводних трактів вимірювальних генераторів.

Випробування установок з випромінюванням на антену повинно проводитись на спеціальних полігонах. В окремих випадках допускається проведення суворо регламентованих за часом і місцем вибіркового випробувань у приміщеннях цехів за умови виключення опромінення персоналу за інтенсивності, яка перевищує граничнодопустиму. У період роботи установок з випромінюванням на антену повинна діяти попереджувальна (звукова або світлова) сигналізація.

Екранування джерел випромінювання або робочих місць здійснюється за допомогою відбивальних екранів (стаціонарних або пересувних). Відбивальні екрани виготовляються з металевих листів, сітки, бавовняної металовмісної тканини та ін. Упоглинальних екранах використовуються спеціальні матеріали, що забезпечують поглинання випромінювання відповідної довжини хвилі. Залежно від потужності випромінювання і взаємного розміщення джерела і робочих місць конструктивне вирішення екранів може бути різним (замкнута камера, щит, чохол, штора та ін).

При виготовленні екрана для джерела випромінювання у вигляді замкнутої камери вводи хвилеводів, коаксіальних фідерів, води, повітря,

виводи ручок керування елементів настроювання не повинні порушувати екранувальних властивостей камери.

Екранування оглядових вікон прикладних панелей проводиться за допомогою радіозахисного скла. Для зменшення просочування електромагнітної енергії крізь вентиляційні жалюзі останні екрануються металевою сіткою або виконуються у вигляді кінцевих хвилеводів.

Зменшення витоків енергії з фланцевих суглобових хвилеводів досягається шляхом застосування "дросельних фланців", ущільнення суглобів за допомогою прокладок, що є провідниками (фосфориста бронза, мідь, алюміній, свинець та інші метали), і поглинальних матеріалів, здійснення додаткового екранування.

Засоби індивідуального захисту слід використовувати при ЩПЕ ЕМП вище 1000 мкВт/кв. см. Вибір засобів захисту (окуляри, щитки, шолом, одяг) визначається конкретними умовами опромінювання. Якщо захисний одяг виготовлений з матеріалу, який містить у своїй структурі металевий дріт, він може використовуватись тільки в умовах, які унеможливають доторкання до відкритих струмопровідних частин.

При проведенні робіт з установками всередині екранованих приміщень (камер) повинні вживатися заходи, що унеможливають перебування персоналу в напрямі випромінювання, а також забезпечують зменшення відбиття електромагнітної енергії від елементів конструкцій, огороження приміщень (розділ 5[8]). З метою захисту персоналу, який перебуває поза камерою, повинні бути передбачені заходи, що унеможливають вихід випромінювання за межі екранованих приміщень. У таких випадках, коли рівні ЕМП усередині камери перевищують граничнодопустимі, персонал слід забезпечувати засобами індивідуального захисту або виводити за межі камер із застосуванням дистанційного керування апаратурою.



При випробуванні й експлуатації установок у режимі випромінювання на антену на відкритих територіях полігонів, аеродромів, метеостанціях, суднах морського і річкового флоту слід уживати заходи, спрямовані на обмеження рівня опромінювання території об'єкта, раціональне розміщення на ньому будинків і споруд, забезпечення безпечних умов для проведення робіт і пересування персоналу в зонах випромінювання антен.

Для зниження рівня опромінювання території об'єкта слід:

- антени станції розміщувати на насипах (естакадах) або природних пагорбах;
- обмежувати використання від'ємних кутів нахилу антени.

Службові приміщення на території об'єкта слід розміщувати переважно в місцях, захищених від ЕМП ("радіотінь", "мертва зона"), орієнтувати так, щоб було унеможливлене опромінювання вікон і дверей, у разі необхідності - екранувати.

Маршрути руху персоналу на території об'єкта слід установлювати таким чином, щоб унеможливити опромінювання при рівнях, що перевищують граничнодопустимі.

Зони випромінювання з ЩПЕ вище 10 Вт/кв. м (1000 мкВт/кв. см) повинні бути позначені спеціальними попереджувальними знаками.

При необхідності проведення робіт у зоні випромінювання антен з рівнями ЕМП вище допустимих повинні застосовуватись пересувні захисні екрани і засоби індивідуального захисту.

На підприємствах, що розробляють, випускають, експлуатують і ремонтують установки й окремі блоки, що генерують ЕМП, повинні бути розроблені інструкції з техніки безпеки, які відображають вимоги цих санітарних норм і правил щодо захисту працівників відповідно до особливостей кожного підприємства. Інструкція затверджується адміністрацією підприємства і узгоджується з органами, що здійснюють

державний санітарний нагляд. Усі особи, що працюють з установками, повинні бути ознайомлені з Інструкцією.

З метою попередження, ранньої діагностики і лікування порушень стану здоров'я працівників, пов'язаних з дією ЕМП, необхідно проводити попередні і періодичні медичні огляди в порядку, установленому наказом МОЗ України.

Усі особи з початковими клінічними проявами порушень, обумовлених дією радіохвиль, а також із загальними захворюваннями, перебіг яких може обтяжуватись під впливом несприятливих факторів виробничого середовища, слід брати на диспансерний облік з проведенням відповідних гігієнічних і терапевтичних заходів, спрямованих на оздоровлення умов праці і відновлення стану здоров'я працівників. Тимчасове або постійне переведення працівників на іншу роботу здійснюється у випадках, що характеризуються прогресивним перебігом хвороби, вираженими формами професійної патології, або при виникненні в результаті дії фактора загальних захворювань. Переведенню на іншу роботу підлягають також жінки в період вагітності і годування немовлят.

Підлітки до 18 років до роботи на установках, які є джерелами ЕМП, не допускаються [8].

## ВИСНОВКИ

- Формування електромагнітної обстановки у виробничих приміщеннях у частотних діапазонах ультрависоких і вищих частот залежить від інтенсивності випромінювань внутрішніх і зовнішніх джерел та відбивальних властивостей поверхонь приміщень. За однакових генерацій внутрішніх джерел випромінювань та зовнішніх впливів щільності потоки енергії складають від 0,10 до 9,22 мкВт/см<sup>2</sup>.

- Часткова екранізація виробничих приміщень є причиною підвищення інтенсивності власних випромінювань засобів зв'язку. Вони зростають від 10...19 мкВт/см<sup>2</sup> за межами приміщень до 34...36 мкВт/см<sup>2</sup> у приміщенні під час пошуку зв'язку та від 0,08...1,50 до 11...14 мкВт/см<sup>2</sup> під час використання. У 6%...8 % технічних засобів такі показники вищі майже на порядок. В зв'язку частковою екранізацією всередині приміщень спостерігається щільність потоку енергії до 16...38 мкВт/см<sup>2</sup>.

- Зниження впливу на працюючих радіотехнічного обладнання аеродромів цивільної авіації досягається встановленням санітарно-захисних зон різної форми за різними азимутами розмірами 20...190 метрів у межах аеродрому. Для персоналу, що безпосередньо працює з високочастотною технікою необхідно застосовувати додаткове екранування.

- Визначено оптимальні ступені екранування зовнішніх електромагнітних випромінювань засобів бездротового зв'язку. Зниження рівня випромінювань з боку базових станцій мобільного зв'язку не повинне перевищувати 0,2 мкВт/см<sup>2</sup>.

- Екранування електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот здійснюється регулярними провідними

структурами. Параметри таких структур (розміри комірок, радіуси дротів) визначаються за допомогою удосконаленої номограми, виходячи з необхідного ступеня зниження рівня випромінювання.

- Вимірювання фактичних щільностей потоків енергії у виробничих приміщеннях повинні базуватися як на стандартних методиках вимірювань на фіксованій частоті, але і на вимірюваннях у смугах частот, характерних випромінюванням окремих джерел. Необхідним є отримання інтегрального показника у окремому діапазоні частот для порівняння з нормативними значеннями. Для визначення реальних рівнів випромінювань радіотехнічних засобів цивільної авіації обов'язковим є розрахунок інтегральних значень рівнів випромінювань за умови їх одночасного функціонування.

- Щільності потоків енергії у виробничих приміщеннях при однакових рівнях випромінювань внутрішніх джерел складають 0,10...9,22 мкВт/см<sup>2</sup>, що обумовлене різними відбивальними властивостями будівельних конструкцій та технологічного обладнання, розміщеного на виробничих площах.

- Проведені дослідження дозволили визначити оптимальні ступені екранування виробничого середовища від зовнішніх електромагнітних випромінювань. Зниження рівня випромінювань з боку базових станцій мобільного зв'язку різного призначення доцільне до 0,2 мкВт/см<sup>2</sup>. При таких умовах власні випромінювання засобів мобільного зв'язку мінімальні. Зі збільшенням ступенів екранування випромінювання технічних засобів можуть зростати до 150...170 мкВт/см<sup>2</sup>.

- Для захисту персоналу аеродромів цивільної авіації від впливу обладнання керування повітряним рухом, систем посадки тощо обов'язково треба встановлювати санітарно-захисні зони. Їх розміри

складають 20...190 м для обладнання, що перебуває в експлуатації на авіапідприємствах України.

- Необхідно здійснювати екранування електромагнітних випромінювань, використовуючи ґратчасті металеві структури. Визначено коефіцієнти екранування випромінювань такими структурами з урахуванням частоти випромінювання, розмірів комірок, радіусу металевих дротів, з яких вони виготовлені. Отримана номограма, яка дозволяє визначити усі параметри захисної поверхні з урахуванням необхідної ефективності екранування.

- З'ясовано методологічні засади використання та розроблення електромагнітних екранів з регулярно розташованими отворами у вигляді хвилеводів, приймаючи до уваги їх діаметр та глибину. Уточнене емпіричне співвідношення розрахунку коефіцієнта екранування таких поверхонь відносно частоти зрізу.

## СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ

### ДЖЕРЕЛ

1. Коваленко В.В. Пріоритетні напрями робіт із захисту працюючих від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот / В.В. Коваленко, О.М. Тихенко, Л.О. Левченко // Вісник КрНУ ім М. Остроградського. – 2016. – Вип. 5(100). – С. 98 –105.
2. Коваленко В.В. Актуальні проблеми захисту від випромінювань ультрависоких частот / В. Коваленко, В. Глива, О. Тихенко // Безпека життя і діяльності на транспорті та виробництві – освіта наука, практика: зб. наук. праць III міжнар. наук.-практ. конф., м. Херсон, 13-15 вересня 2016 р. – Х: 2016. – С. 109-113.
3. Методические указания по определению уровней электромагнитного поля средств управления воздушным движением гражданской авиацией ВЧ-, ОВЧ-, УВЧ- и СВЧ-диапазонов / Сост. М.Г. Шандала, Ю.Д. Думанский, Л.С. Иванов и др. – М., 1988. – 44 с.
4. МУК 4.3.1067-02 Определение плотности потока энергии в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне 30 МГц – 300 ГГц.
5. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов и дополнения по СанПиН 2.1.8/2.2.4.2302-07.
6. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань: ДСН 239-96.-К.: МОЗ України, 1996. – 28 с. – (Державні санітарні норми України).
7. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. – К. – 2002. Державне підприємство «Укрархбудінформ». – 59 с. Затверджено Наказом Міністерства Охорони Здоров'я України від 19 червня 1996р. № 173.

8. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів: Д Сан Пін 3.3.6.096-2002. [Чинний від 2003-01-04]. – К.: МОЗ України, 2003. – 16 с. – (Державні санітарні норми України).
9. Коваленко В.В. Методологія визначення захисних властивостей електромагнітних екранів / В.В. Коваленко, О.М. Тихенко // Теорія і практика будівництва КНУБА. – 2015. – Вип. 16. – С. 11–14.
10. Тихенко О.М. Екранування як метод підвищення електромагнітної безпеки / О.М. Тихенко, В.В. Коваленко // Екологічна безпека держави: тези доповідей X Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. м. Київ, 21 квітня 2016 р., Національний авіаційний університет – К.: НАУ, 2016. – С. 61.
11. Коваленко В.В. Оцінка ефективності захисних властивостей електромагнітних екранів / В.В. Коваленко, О.М. Тихенко // Теорія і практика будівництва. – 2015. – Вип. 15. – С. 15–19.
12. Коваленко В.В. Дослідження ефективності сучасних електромагнітних екранів/ В. Коваленко, О. Тихенко // Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика: збірник наук. праць XV між нар. наук.-практ. конф., м. Київ, 19-20 травня 2016 р. – К: 2016. – С. 126-129.
13. Демский Д.В. Метод расчета эффективности экранирования для неоднородных электромагнитных экранов: дис. канд. техн. наук: 05.12.14 / Демский Дмитрий Викторович. – М., 2014. – 114 с.
14. Кирпанев А. В. Электромагнитное поле: теория идентификации и её применение / А.В. Кирпанев, В.Я. Лавров. — М. Вузовская книга, 2012. — 278с.
15. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz) / International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. // Health Physics, 1998. – № 74. – p. 494-522.
16. Думанський Ю.Д. Результати досліджень просторового розподілу рівнів електромагнітного випромінювання від засобів передачі даних типу

WI-FI / Ю.Д. Думанський, Біткін С.В., Думанський В.Ю. [та ін.] // Гігієна населених місць. – 2013. – Вип. 61. – С. 186 – 195.

17. Подобєд І.М. Шляхи вдосконалення нормативної бази з електромагнітної безпеки та магнітної сумісності технічних засобів в умовах підвищення енергонасиченості будівель і споруд / І.М. Подобєд, В.А. Глива, Л.О. Левченко // Гігієна населених місць. – К.: 2012. - Вип. 28, – С. 171-175.

18. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM–2015 – [acting from July 2008]. – Germany: Institut für Baubiologie +Ökologie IBN, 2015. – 5p.

19. Глива В.А. Моніторинг та нормалізація фізичних факторів виробничого середовища при експлуатації автоматизованих систем: дис. докт.техн.наук: 05.26.21; Глива Валентин Анатолійович. – Київ, 2012. – 320 с.

20. Барабаш О.В. Питання узгодженості нормативної бази електромагнітної сумісності та електромагнітної безпеки засобів обчислювальної техніки / О.В.Барабаш, В.А.Глива, А.В.Лук'янчиков // Прикладная электроника. Состояние и перспективы развития: 3-й Международный радиоэлектронный форум: 22-24 окт. 2008: Сб.науч.тр. т.VI. – X, 2008. С.159 – 162.

21. Халмурадов Б.Д. Електромагнітна безпека та електромагнітна сумісність технічних засобів / Б.Д. Халмурадов, О.Л. Левченко, В.А. Глива, Т.М. Перельот // Системи обробки інформації. – 2015. – 12 (137). – С. 66 – 68.

22. Халмурадов Б.Д. Проблеми узгодженості нормативної бази з електромагнітної сумісності та електромагнітної безпеки / Б.Д. Халмурадов, Л.О. Левченко, Т.М. Перельот // Наука і техніка повітряних сил України. – 2015. – № 4. – С.103–106.

23. ETSI EN 300 220-2 V2.4.1 (2012-05): Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW; Part 2: Harmonized EN covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive.



24. Глива В. А. Забезпечення стабільності функціонування технологічного обладнання в умовах підвищення електромагнітного навантаження на виробниче середовище // Проблеми охорони праці в Україні. – 2015. – Вип.30. – С. 32– 36.

25. Нікітіна Н.Г. Еколого-гігієнічні та соціальні проблеми дії ЕМП / Н.Г. Нікітіна // Гігієна населених місць. – 2009. – Вип. 53. – С. 191 – 193.

26. Левченко О. Г., Левчук В. К., Тимошенко О. М. Нормалізація енергетичного навантаження магнітного поля на операторів машин контактного точкового зварювання // Проблеми охорони праці в Україні. – К.: ННДІПБОП, 2011. – Вип. 20. – С. 92-101.

27. Khalifa T. Electromagnetic Pollution Emitted from Base Station. // International Journal of Science and Research / A. Alnabi // International Journal of Science and Research. – 2015. – Vol. 4. – P. 1125-132.

28. Галак С.С. Гігієнічна оцінка електромагнітного випромінювання, що створюється базовими станціями та мобільними телефонами стандарту DCS-1800/С.С. Галак // Гігієна населених місць.–2014. – Вип. 64. – С. 171-182.

29. Галак С.С. Електромагнітний фон базових станцій систем рухомого зв'язку і напрямки його зниження / С.С. Галак, В.М. Павлик, А.П. Безверха // Гігієна населених місць.–2012. – Вип. 60. – С. 204-207.

30. Защитные свойства электромагнитных экранов на основе металлосиликатных материалов в диапазоне СВЧ / [Клапченко В.І., Краснянский Г.Е., Глива В.А., Азнаурян И.А.] – К.: Гігієна населених місць. «КНУБА», 2010. – Вип. 56. – С. 219-226.

31. Глива В.А. Моделювання просторових розподілів електромагнітних полів електротехнічного обладнання / В.А. Глива, Л.О. Левченко, Х.В. Паньків // Управління розвитком складних систем. – 2014. – Вип. 20. – С. 174 – 179.

32. Глива В.А. Принципи моделювання просторових розподілів електромагнітних полів багатьох джерел у робочих приміщеннях / В.А. Глива // Вісник НТУУ «КПІ», серія «Гірництво». – 2009. – Вип.18. – С.130-135.

33. Левченко Л.О. Моделювання магнітного поля електричних машин. / Л.О. Левченко, В.А. Глива, В.В. Коваленко // Збірник наукових праць III Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ-2016). Черкаський державний технологічний університет, 12 травня. – 2016. – Т.1. – С. 122-125.

34. Глива В.А. Дослідження електромагнітного навантаження на виробничі середовища аеропортів та головні напрями його зниження / В.А. Глива, Б.Д. Халмуадов, С.М. Занько, І.М. Подобєд // Проблеми охорони праці в Україні. – 2013. – Вип. 27. – С. 44-48.

35. Kasar V. A Novel Approach to Electromagnetic Interference Shielding for Cell Phones / V. Kasar, A. Pawar // International Journal of Science and Research. – 2014.- Vol. 3. – P. 1869-1872.

36. Панова О.В. Захист працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням: дис. ... канд.техн.наук: 05.26.01 / Панова Олена Василівна – К., 2014. – 151 с.

37. Патент 74857 Україна, МПК G12B17/00. Електромагнітний екран з керованими захисними властивостями / Глива В.А., Назаренко М.В., Подобєд І.М., Матвєєва О.Л., Панова О.В.; заявники і патентоотримувачі; заявлено 12.05.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. № 21.

38. Glyva V.A. Electromagnetic load on the airport staff and basic methods of its reducing / V.A. Glyva, V.V. Kovalenko, N.N. Kychata, L.A. Levchenko // Proceedings The Sixth world congress “Aviation in the XXI-st century”, September 23-25, 2014. – Vol.2. – Pp.5.2.14 – 5.2.18.

39. Запорожець О.І. Створення електромагнітних екранів із заданими захисними властивостями / О.І. Запорожець, В.А. Глива, А.В. Лук'янчиков // Вісник НАУ. – 2008. – № 3. – С. 139-142.

40. Глива В.А. Розроблення і дослідження композитних електромагнітних екранів з керованими захисними властивостями / В.А. Глива, І. М. Подобєд, О. Л. Матвєєва // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2011. – Вип. 21. С. 176-181.

41. Глыва В.А. Исследования геометрических критериев электромагнитных экранов / В.А. Глыва, Е.В. Панова // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2014. – №1 – С.10-17.

42. Резинкина М.М. Экранирование магнитного поля промышленной частоты в рабочих зонах электростанций / М.М. Резинкина, В.С. Гринченко, Ю.Д. Думанский, С.В. Медведев // Гігієна населених місць. – 2010. – Вип. 55. – С. 249-255.

43. Измеритель уровней электромагнитных излучений ПЗ-31. Руководство по эксплуатации. – ОАО «СКБ РИАП». – Нижний Новгород. – 2012. – 20 с.

44. Браїловський В.В. Охорона праці в телекомунікаціях та системах ТЗІ / В.В. Браїловський, І.М. Зушман, В.Б. Русин // Навчальний посібник. - 2018. - С. 28.

45. Коваленко В.В. Розрахункові методи визначення захисних властивостей електромагнітних екранів у дальній зоні електромагнітного поля / В. В. Коваленко, В. А. Глива, О. М. Тихенко, С. О. Лук'яненко // Системи обробки інформації. – 2016. – № 7. – С. 55-57.