

УДК 538.69.331.45

О. М. Тихенко (Національний авіаційний університет)

МЕТОДИ ЗАХИСТУ ПРАЦЮЮЧИХ ВІД ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ УЛЬТРАВИСОКИХ І ВИЩИХ ЧАСТОТ

У роботі обґрунтовано проблеми захисту від електромагнітних випромінювань ультрависоких частот для забезпечення безпеки людей та прийнятної якості зв'язку. Доведено, що найбільш ефективним методом зниження електромагнітного фону є екранування зовнішніх випромінювань та зниження рівнів випромінювань внутрішніх джерел.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання, випромінювання ультрависоких частот, екранування.

В работе обоснованы проблемы защиты от электромагнитных излучений ультравысоких частот для обеспечения безопасности людей и приемлемого качества связи. Доказано, что наиболее эффективным методом снижения электромагнитного фона является экранирование внешних излучений и снижения уровней излучений внутренних источников.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, излучение ультравысоких частот, экранирование.

In this paper the problem of protection from electromagnetic radiation of ultrahigh frequencies to ensure the safety of people and an acceptable quality of communication, have been substantiated. The most effective way to reduce electromagnetic background it's shielding is external radiation and reduce the levels of internal radiation sources.

Keywords: electromagnetic radiation, radiation of ultrahigh frequency, shielding.

Незважаючи на значну увагу, що приділяється дослідженням і прикладним розробкам по захисту людей від впливу високочастотних випромінювань у виробничих та побутових умовах, завдання, пов'язані з цією проблематикою, далекі від остаточного вирішення. Підвищення в Україні гранично допустимих рівнів випромінювань частот базових станцій мобільного зв'язку у чотири рази (10 мкВт/см^2 , що відповідає загальноєвропейському нормативу) частково знизить гостроту проблеми, проте постануть й нові завдання, пов'язані з перерозподілом таких випромінювань у просторі. Це потребує проведення досліджень щодо зниження електромагнітного навантаження на виробниче середовище, виходячи з нових реалій та принципу розумної достатності.

Стан питання. Більшість досліджень щодо захисту людей від впливу електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот (мобільний зв'язок, бездротові комп'ютерні мережі, мікрохвильова техніка різного призначення, радіотехнічні об'єкти цивільної авіації тощо) обмежуються обстеженням території, будівель, окремих приміщень та констатують факт перевищення або прийнятності рівнів випромінювань [1, 2]. Значну частину робіт присвячено експериментальним дослідженням рівнів випромінювань, виявленню фактичних діаграм їх спрямованості та визначенню санітарно-захисних зон, зон обмежень забудови тощо [3, 4]. Останніми роками виконано низку експериментальних і теоретичних досліджень зі зниження на працюючих впливу випромінювань ультрависоких і надзвичайно високих частот їх екрануванням захисними матеріалами різних складів та конфігурацій [5, 6]. При цьому розглядається можливість їх максимального блокування як найбільш шкідливої складової електромагнітного спектра. У багатьох випадках, як, наприклад, щодо вимірювань радіотехнічних об'єктів цивільної авіації, це цілком розумно [7]. Але частина високочастотних випромінювань фіксованих частот, використовуються у виробничих цілях для забезпечення бездротового зв'язку, що потребує підтримання мінімально необхідних рівнів сигналу. Тобто, зниження потоків енергії від таких джерел має базуватися на принципах розумної достатності. Цей аспект проблематики захисту працюючих від впливу випромінювань ультрависоких і вищих частот практично не досліджено.

Мета статті – сформулювати сучасні методологічні підходи до захисту працюючих від впливу електромагнітних полів ультрависоких та вищих частот і надати практичні рекомендації щодо їх впровадження.

Найбільш поширеними та відпрацьованими методами захисту працюючих є зниження випромінювальних спроможностей технічних засобів, збільшення відстані між джерелом і працівниками та зменшення часу їх перебування у зоні випромінювання.

У сучасних умовах ці методи мають обмежене застосування або не взагалі не застосовуються. Підходи до захисту працюючих від впливу окремих джерел випромінювань (груп джерел) суттєво відрізняються.

Потужність деяких джерел можна знизити. Це стосується УВЧ-апаратури, яка використовується у виробництві, а також паразитних випромінювань багатьох електронних пристроїв. Такий метод застосовується для зниження впливу на працюючих радіотехнічного обладнання цивільної авіації. Але практично вся апаратура бездротового зв'язку (як усередині приміщень, так і базові станції мобільного зв'язку) мають працювати з номінальною потужністю. Як її зниження, так і підвищення має наслідком нестабільність функціонування. Щодо дистанціонування працюючих від джерел випромінювань, то це теж практично неможливо для засобів зв'язку. У приміщеннях формується практично ізотропне електромагнітне поле. Обмеження часу перебування під впливом випромінювань також є проблематичним, враховуючи, що людина протягом робочого дня перебуває на робочому місці, а у багатьох випадках і у побутових умовах, що робить недостатнім час відновлення.

Найбільш прийнятним методом зниження впливу на працюючих високочастотних випромінювань є їх екранування. Але виникає проблема втрати зв'язку, який використовується для виробничих потреб, або його недостатня якість.

В умовах часткової екранізації приміщень незадовільне проходження радіохвиль викликає значне підвищення інтенсивності випромінювання за рахунок відбиття хвиль від внутрішніх джерел (табл. 1).

Проведені нами експериментальні дослідження показали, що інтенсивність випромінювань засобів мобільного зв'язку різко зростає при зниженні сигналу з боку базових станцій – до $0,2-0,1$ мкВт/см². Типові залежності інтенсивностей випромінювань поширених мобільних телефонів від щільності потоку енергії з боку базової станції наведено на рис. 1.

Отримані результати свідчать, що при зниженні рівня зовнішнього сигналу до $0,2$ мкВт/см² ми гарантовано маємо надійний зв'язок без підвищення випромінювання мобільних телефонів.

Значно зростає й випромінювання мобільного телефону при низькому рівні сигналу базової станції (табл. 2).

Як видно з наведених даних, визначене порогове значення більш ніж у 10 разів нижче за чинний граничнодопустимий рівень.

Постає питання про доцільність такого зниження рівня зовнішнього випромінювання. Воно має два аспекти.

По-перше, максимальне зниження рівнів електромагнітних полів антропогенного походження за технічної можливості обґрунтоване через шкідливість таких випромінювань будь-якого рівня, що зазначено у документах Всесвітньої організації охорони здоров'я.

По-друге, зниження рівнів зовнішніх випромінювань не означає наявність таких їх значень у приміщеннях.

Таблиця 1

Рівні щільності потоків енергії у приміщеннях різного призначення з однаковою генерацією випромінювань ультрависокої частоти

№ п/п	Щільність потоку енергії W , мкВт/см ²	
	Фон зовнішніх випромінювань	Рівень випромінювань при ввімкнутому джерелі
1	0,20	2,3
2	0,19	2,5
3	0,20	4,3
4	0,25	2,8
5	0,22	3,6
6	0,20	7,8
7	0,24	12,5
8	0,20	16,7

Таблиця 2

Рівні випромінювань мобільних телефонів у частково екранованих приміщеннях*

Технічний засіб	Щільність потоку енергії, мкВт/см ²			
	У приміщеннях		За межами приміщень	
	Пошук зв'язку	Розмова	Пошук зв'язку	Розмова
1	130	27	13	1,4
2	98	18	25	1,3
3	46	18	20	1,1
4	32	12	8	1,0
5	26	8	7	0,08

* Примітка: вимірювання виконувались у приміщеннях із різним ступенем екранізації з використанням поширених моделей телефонів різних виробників

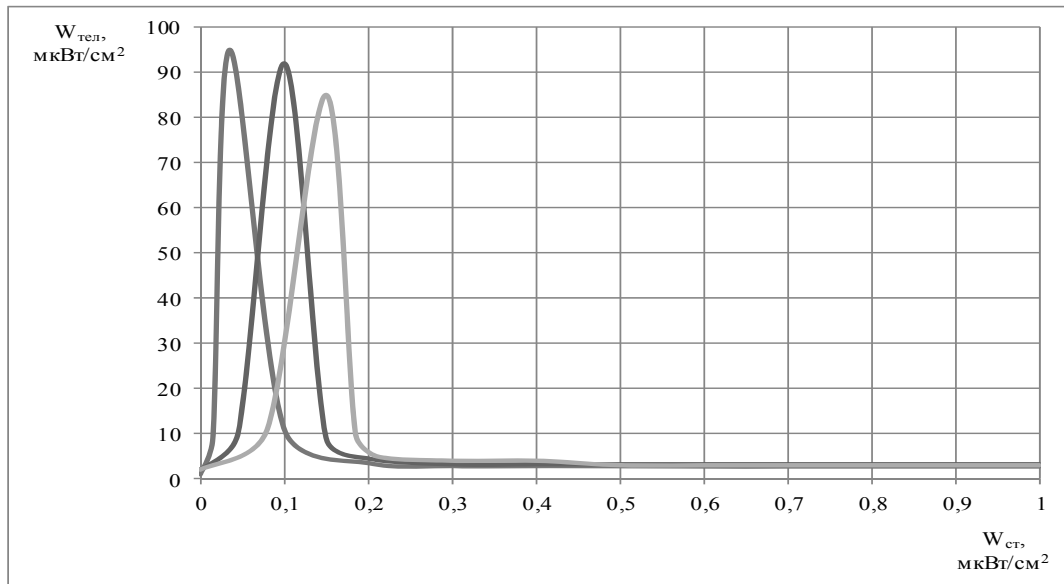


Рис. 1. Типові залежності інтенсивності випромінювань мобільних телефонів від рівня сигналу з боку базових станцій

Як показали дослідження, інтегральні рівні електромагнітних полів у багатьох випадках зростають через їх багаторазове відбиття, що притаманне випромінюванню з малими довжинами хвиль. Крім того, на них накладаються випромінювання внутрішніх джерел комп'ютерних бездротових мереж, яких може бути багато у одній будівлі. Ступені таких перевипромінювань можна розрахувати, наприклад, за методикою, описаною у [8]. Так, значення комплексних коефіцієнтів відбиття радіохвиль вертикальної та горизонтальної поляризації можна визначити як:

$$\dot{R}_e = \frac{\varepsilon \sin \gamma - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \gamma}}{\varepsilon \sin \gamma + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \gamma}},$$

$$\dot{R}_z = \frac{\sin \gamma - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \gamma}}{\sin \gamma + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \gamma}},$$

де ε – комплексна діелектрична проникність середовища;

γ – кут між напрямками поширення електромагнітної хвилі та поверхнею відбиття.

У результаті формується ізотропний електромагнітний фон, який у 5–6 разів перевищує інтенсивність первинного випромінювання.

Нормативні рівні випромінювань базових станцій мобільного зв'язку оцінюються виходячи із діаграм спрямованості випромінювань, а саме – за основним (робочим) пелюстком, – зі співвідношення $\frac{W}{W_{ГДР}} = 1$.

Але реальні випромінювачі ультрависоких і надвисоких частот дуже чутливі до механічних та інших впливів (навіть вологості та забруднення поверхні антени), що призводить до появи побічних (паразитних) випромінювань (рис. 2).

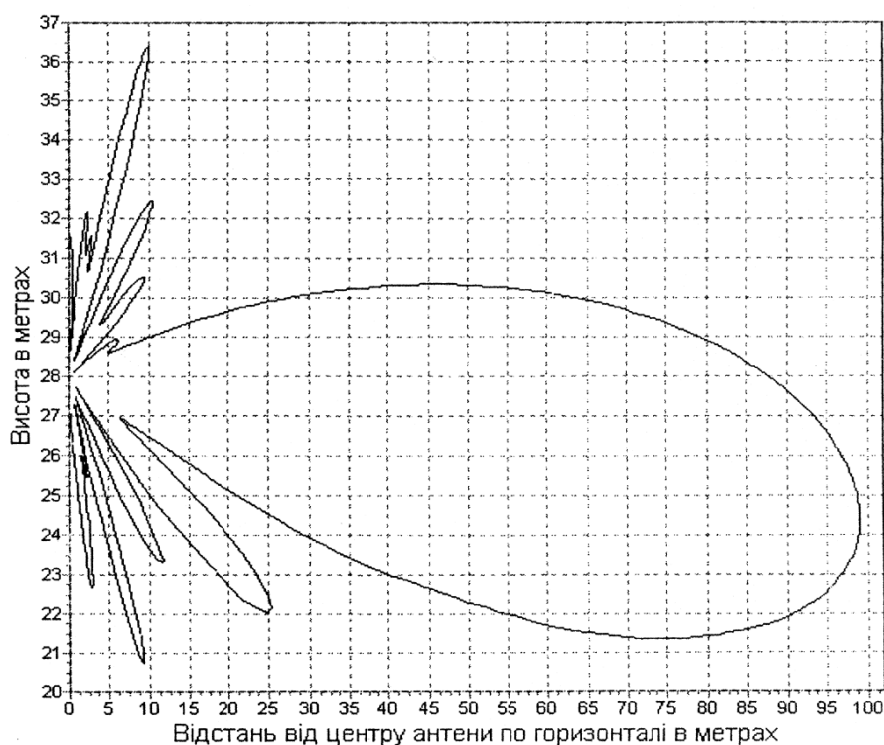


Рис. 2. Вертикальна діаграма випромінювання частотою 1,8 ГГц при $\frac{W}{W_{ГДР}} = 1$.

Висота розташування антени – 28 м

Важливість врахування паразитних випромінювань обумовлена тим, що чинні нормативи дозволяють встановлення антен базових станцій на дахах будівель. У загальному випадку це безпечно через те, що сама будівля перебуває у радіотіні («мертвій зоні») відносно основної пелюстки. Але побічні випромінювання можуть значно перевищувати електромагнітний фон у будівлі. Найбільш ефективним засобом зниження їх впливу є екранування. Але постає питання щодо спрямування відбитого випромінювання у небажаному напрямку.

Це висуває певні вимоги до захисних поверхонь: вони повинні забезпечувати загальні коефіцієнти екранування, які залишають рівні випромінювань, достатні для виробничих потреб та мати мінімальні коефіцієнти відбиття.

Таким умовам відповідають композитні металополімерні електромагнітні екрани з керованими захисними властивостями.

Випробування дослідних зразків таких екранів показали можливість досягти коефіцієнтів відбиття 0,1–0,2, що порівняно з традиційними матеріалами більш ніж задовільно, але існують і певні проблеми. Так,

використання металевих включень навіть розмірами 2–5 мкм у полімерну матрицю робить загальні коефіцієнти екранування дуже великими, тобто за деяких концентрацій металевої субстанції відбувається повне поглинання електромагнітних хвиль, що неприйнятне з точки зору виробничих потреб.

На нашу думку, перспективним є використання металевих наноструктур як наповнювача. Такі наноструктури крім кращої керованості захисту забезпечують меншу товщину екрана. Але у багатьох випадках дистанціювання працівників від джерел випромінювань є обов'язковим. Особливо це стосується підприємств цивільної авіації. Так, на аеродромі Київ / Антонов 2 (м. Гостомель) одночасно працює велика кількість радіотехнічного обладнання високих потужностей, випромінювання якого використовується для забезпечення безпеки польотів. Це:

- 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;
- радіостанція Р-140 («Полоса»);
- обзорний радіолокатор 1РЛ139-2 (П-37);
- аеродромний радіолокатор ДРЛ-6М2;
- точний посадочний радіолокатор РП-4Г.

Результати вимірювання випромінювання з боку основних засобів наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Випромінювання з боку основних засобів аеродрому Київ/Антонов 2 (м. Гостомель)

Джерело випромінювання	H , В/м	L , м	ГДР
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
ДПРМ-149 (дальній приводний радіомаяк)	5780–0,62	0–100	15 В/м
ДПРМ-329 (дальній приводний радіомаяк)	5780–0,62	0–100	15 В/м
БПРМ-149 (ближній приводний радіомаяк)	4470–0,15	0–100	25 В/м
БПРМ-329 (ближній приводний радіомаяк)	9020–0,5	0–100	25 В/м

Продовження табл. 3

1	2	3	4
Р-140 (станція радіозв'язку «Полоса»)	146–1,12	0–200	3 В/м
радіотехнічні засоби забезпечення польотів на території льотного поля	46360–0,01 мкВт/см ²	0–5000	ОРЛ – 15 мкВт/см ² інші – 2,5 мкВт/см ²
СП-80М (КРМ)	1,77–0,2	0–400	3 В/м
СП-80М (ГРМ)	9,0–0,16	0–400	2,5 мкВт/см ²

На певній відстані ці рівні перевищують гранично допустимий рівень для існуючих джерел випромінювання.

Обов'язковим етапом для визначення захисних зон у цивільній авіації є розрахунки щодо їх розмірів. У результаті для найбільш критичних джерел випромінювань, які працюють постійно, було визначено захисні зони таких форм та розмірів:

- для ДПРМ-15 санітарно-захисну зону у формі еліпса з піввісями 33 м і 45 м (відраховуючи від полотна антени);
- для ДПРМ-33 санітарно-захисну зону у формі еліпса з піввісями 34 м і 47 м (відраховуючи від полотна антени);
- для БПРМ-15 санітарно-захисну зону у формі еліпса з піввісями 47 м і 50 м (відраховуючи від полотна антени);
- для БПРМ-33 санітарно-захисну зону у формі еліпса з піввісями 42 м і 48 м (відраховуючи від полотна антени);
- для СП-80 санітарно-захисну зону радіусом 18 м;
- для станції радіозв'язку Р-140 («Полоса») санітарно-захисну зону у формі еліпса з піввісями 40 м і 80 м (відраховуючи від полотна антени);
- для ОРЛ П-37 санітарно-захисну зону радіусом 130 м;
- для РСБН-4Н санітарно-захисну зону радіусом 64 м;
- для ДРЛ -6М2 санітарно-захисну зону радіусом 190 м;
- для РП-4Г санітарно-захисну зону радіусом 2065 м по азимутах 149° і 329° у секторі ±16° від напрямку головного азимуту;
- для СП-80М КРМ санітарно-захисну зону радіусом 25 м.

Таким чином, захист відстанню у цьому випадку обумовлений тим, що не можна знижувати рівні випромінювань, що безпосередньо використовуються для виробничих потреб.

Висновки

1. Найбільш ефективним методом зниження електромагнітного фону ультрависоких і вищих частот є екранування зовнішніх випромінювань і зниження рівнів випромінювань внутрішніх джерел.

2. Зниження рівнів зовнішніх випромінювань засобів мобільного зв'язку не може перевищувати $0,2 \text{ мкВт/см}^2$, що забезпечує надійний мобільний зв'язок без перевищення рівнів випромінювань самих мобільних телефонів.

3. Для зниження рівня електромагнітного фону доцільно використовувати композитні металополімерні електромагнітні екрани з мінімальними відбивальними властивостями. Потрібні коефіцієнти відбиття визначаються, виходячи з потужностей джерел випромінювання, співвідношення інтенсивностей випромінювань зовнішніх і внутрішніх джерел та потрібного рівня випромінювань для забезпечення виробничих потреб.

4. Перспективним напрямом досліджень захисних властивостей та керованості співвідношення коефіцієнтів відбиття та поглинання є використання як наповнювача металевої субстанції нанорозмірів.

5. Захист відстанню шляхом визначення санітарно-захисних зон радіотехнічного обладнання застосовується при недоцільності зниження рівнів випромінювань, що використовуються безпосередньо для виробничих потреб.

Список літератури

1. Думанський Ю. Д. Гігієнічна характеристика електромагнітного випромінювання радіотелефонів базових станцій рухомого зв'язку / Ю. Д. Думанський, В. М. Павлик, С. С. Галак // Гігієна населених місць. – 2009. – Вип. 53. – С. 223–227.

2. Електромагнітне випромінювання, що створюється обладнанням стільникового зв'язку в умовах радіоекранованих приміщень / [Думанський В. Ю., Біткін С. В., Галак С. С., Прусов Д. Е.] // – К. : Гігієна населених місць. – 2010. – Вип. 55. – С. 188–191.

3. Думанський Ю. Д. Методика розрахунку гігієнічно безпечної зони покриття базової станції систем рухомого зв'язку / Ю. Д. Думанський, В. М. Павлик // Гігієна населених місць. – 2007. – Вип. 49. – С. 226 – 230.

4. Мордачев В. И. Необходимый и достаточный уровень мощности электромагнитного излучения базовых станций сети GSM / В. И. Мордачев, А. С. Свистунов // Доклады белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2013. – № 7. – С. 44–50.

5. Матвеева О. Л. Електромагнітні екрани з керованими захисними властивостями / О. Л. Матвеева, О. В. Панова // Матеріали XI Міжнар. наук.-техн. конф. «АВІА-13» 21–23 травня. – К. : НАУ, 2013 р. – Т. 5. – С. 32.29–32.32. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://avia.nau.edu.ua/doc/2013/AVIA2013_v5.pdf

6. 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.

7. 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.

8. Агарышев А. И. Анализ измеренных и рассчитанных напряженностей поля радиоволн УКВ-диапазона / А. И. Агарышев, В. Г. Власов, В. Л. Куклин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2009. – № 4. – С. 189–192.

Дата подання статі до збірника – 14.10.2016

Рецензент – д-р техн. наук Глива В. А.