

**Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
Кафедра охорони праці, промислової та цивільної безпеки**

***ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1 (РТФ, ІТС)***

*з дисципліни «Охорона праці та цивільний захист»*

***Тема роботи:***

***«Методи розрахунку рівнів інтенсивності  
електромагнітних полів на робочих місцях».***

**Укладач:** канд. техн. наук, доцент Каштанов Сергій Федорович  
Затверджено на засіданні кафедри ОПЦБ протокол № 1 від 30.08.2018 р.

**Теоретичні положення**

Найкращим методом, що дозволяє гарантовано оцінити в радіочастотному діапазоні рівні інтенсивності електромагнітних полів (ЕМП) на робочих місцях все ще залишається метод вимірювання. В той же час, для попередньої оцінки рівнів інтенсивності ЕМП, допускається використовувати і розрахункові методи.

Інтенсивність ЕМП у довільній точці спостереження залежить від цілого ряду чинників: від параметрів випромінювача (потужності випромінювання, довжини хвилі, відстані, діаграми спрямованості випромінювача), від ступеня впливу середовища поширення ЕМП, а також від розподілу поля поблизу точки спостереження, тобто від місцевих предметів. Зручніше усього розділити ці чинники на дві групи: перша - залежить від параметрів випромінювача і визначає інтенсивність ЕМП у точці вільного простору, що співпадає геометрично з точкою спостереження; друга - від умов поширення на трасі і розподілу поблизу землі, вона враховується за допомогою поправочних коефіцієнтів до інтенсивності ЕМП у вільному просторі.

Такі методи розрахунку рівня ЕМП, як апертурний та струмовий, дозволяють з достатньою точністю оцінити його рівень на робочих місцях, якщо точно задані вихідні дані. Проте створити на їхній основі прості інженерні методики практично неможливо через наступні недоліки цих методів:

- значної кількості вихідних даних, необхідних для розрахунку;
- складністю математичного апарата;
- високі вимоги, щодо точності заданих вихідних даних.

На практиці більше використовуються спрощені методи розрахунку, що дозволяють попередньо (орієнтовно) розраховувати інтенсивність ЕМП на робочих місцях.

## **Методи розрахунку інтенсивності ЕМП**

Методи розрахунку інтенсивності опромінювання залежить від типу випромінювача та від того, в якій зоні випромінювача (ближній, проміжній, дальній) знаходиться робоче місце.

Спочатку визначають межі зон випромінювача ЕМП.

**Для ізотропних випромінювачів:** ближня зона (зона індукції) випромінювача знаходиться від нього на відстані

$$r_{б.з.} \leq \frac{\lambda}{2\pi}; \quad (1)$$

проміжна зона «Френеля» знаходиться в межах

$$\frac{\lambda}{\pi} \geq r_{з.ф.} \geq \frac{\lambda}{2\pi}; \quad (2)$$

дальня зона знаходиться від випромінювача на відстані

$$r_{д.з.} \geq \frac{\lambda}{\pi} \text{ (на практиці приймається } r_{д.з.} \geq \lambda \text{)}. \quad (3)$$

**Для параболічних круглих спрямованих випромінюючих антен**

$$r_{б.з.} \leq \frac{D^2}{4\lambda}; \quad r_{д.з.} \geq \frac{D^2}{\lambda}, \quad (4)$$

де:  $D$  - максимальний розмір (діаметр) розкриву антени.

**Для інших типів спрямованих випромінюючих антен**

$$r_{б.з.} \leq \frac{L_1 \cdot L_2}{4\lambda}; \quad r_{д.з.} \geq \frac{L_1 \cdot L_2}{\lambda}, \quad (5)$$

де:  $L_1$  і  $L_2$  - максимальні розміри розкриву антени.

Далі визначають, в якій зоні знаходиться робоче місце, і для даної зони розраховується напруженість електричного ( $E$ , В/м) та магнітного ( $H$ , А/м) полів або густина потоку енергії (ГПЕ, Вт/м<sup>2</sup>) в залежності від частотного діапазону роботи випромінювача.

Якщо визначається інтенсивність ЕМП у діапазоні  $1 \text{ кГц} < f < 300 \text{ МГц}$ , у якому нормуються напруженості  $E$  і  $H$ , то без урахування спотворення поля поблизу розрахункової точки від сторонніх предметів:

- напруженості  $E$  і  $H$  для ближньої зони лінійного ізотропного випромінювача можуть бути визначені за формулами

$$E_{\text{бл}} = I \cdot l / (2\pi \cdot \omega \cdot \varepsilon \cdot r^3); \quad (6)$$

$$H_{\text{бл}} = I \cdot l / (4\pi r^2); \quad (7)$$

де:  $I$  - сила струму в провіднику (антені), А;

$l$  - довжина провідника (антени), м;

$\omega$  - кругова частота поля, ( $\omega = 2\pi f$ );

$\varepsilon$  - діелектрична проникність середовища, Ф/м;

$\varepsilon = \varepsilon_R \cdot \varepsilon_0$ ;

$\varepsilon_R$  - відносна діелектрична проникність середовища

(для повітря  $\varepsilon_R = 1$ );

$\varepsilon_0$  – діелектрична проникність вакууму,  $1/(36 \cdot \pi) \cdot 10^{-9}$  Ф/м;

$r$ - відстань від джерела випромінювання до робочого місця, м;

- напруженості  $E$  и  $H$  для дальньої зони ізотропного або спрямованого випромінювача можуть бути визначені за формулами:

$$E_{\partial} = \sqrt{30 \cdot P \cdot G} / r \quad (8)$$

$$H_{\partial} = \sqrt{P \cdot G / 30} / (4 \pi \cdot r) \quad (9)$$

де:  $P$  - потужність випромінювання; Вт;

$G$  - коефіцієнт підсилення антени (для ізотропного випромінювача  $G=1$ );

$r$ - відстань від джерела випромінювання до робочого місця, м.

Якщо визначається інтенсивність ЕМП у діапазоні  $300 \text{ МГц} < f < 300 \text{ ГГц}$ , у який нормується ГПЕ, то для ізотропних та направлених випромінювачів, без урахування спотворення поля поблизу розрахункової точки від сторонніх предметів і впливу землі, можуть бути використані наступні формули:

**для ближньої зони - (спрямований випромінювач)**

$$ГПЕ_{\text{бл}} = 3 \cdot P / S; \quad (10)$$

**для проміжної зони Френеля ) – (спрямований випромінювач)**

$$ГПЕ_{\text{з.ф.}} = 3P/S(r_{\text{бл}}/r^2); \quad (11)$$

**для дальньої зони - (спрямований або ізотропний випромінювач)**

$$ГПЕ_{\partial} = P G / (4 \pi r^2 L_z); \quad (12)$$

де:  $P$  - потужність випромінювання; Вт (у разі імпульсного режиму випромінювання використовується середня потужність випромінювання  $P_{\text{сер}}$ , Вт, яка визначається за наступною формулою  $P_{\text{сер}} = P_{\text{имп}} \cdot \tau / T$ , де  $P_{\text{имп}}$  - потужність випромінювання в імпульсі, Вт);

$\tau$  - тривалість імпульсу, с;

$T$  - період повторення імпульсів, с;

$S$  - площа випромінювання антени, м<sup>2</sup>;

$r$  - відстань від джерела випромінювання до робочого місця, м;

$G$  - коефіцієнт підсилення антени ( для ізотропних випромінювачів  $G=1$ );

$L_z$  - затухання (послаблення) ЕМП на шляху його розповсюдження.

*Реальне середовище, у котрому можливо опромінення людей ЕМП, завжди відмінно від вільного повітряного простору і в першу чергу тим, що на деяких кінцевих відстанях від випромінюючої антени знаходяться: земля, виробничі будинки, різноманітне устаткування, прилади і самі люди. Всі вони мають електродинамічні властивості, що відмінні від властивостей повітряного середовища, і таким чином суттєво впливають на поширення електромагнітних хвиль у цьому середовищі, відбиваючи, преломляючи і поглинаючи їх.*

Для того щоб врахувати вплив землі на поширення електромагнітних хвиль над нею, у відповідності з теорією розповсюдження електромагнітних хвиль, вводиться коефіцієнт  $F$ , що враховує зміну поля в точці прийому за рахунок складання прямого та відбитого електромагнітного поля:

$$\Gamma_{ПЕ} = \frac{P \cdot G}{4\pi r^2 L_z} \cdot F^2. \quad (13)$$

Коефіцієнт  $F$  у загальному випадку є складною періодичною функцією багатьох змінних і використовувати його для інженерних розрахунків у загальному виді досить важко. Проте для найбільш поширених на практиці окремих випадків, у разі виконання відповідних умов, формула для знаходження коефіцієнта  $F$  значно спрощується.

I. При дифузійному відбитті від негладкої поверхні землі (при великій висоті нерівностей, зокрема трав'яного покриву), відбиття безпосередньо в напрямку на точку спостереження, особливо при вертикальній поляризації хвилі, невелике і умови поширення наближаються до умов у вільному просторі ( $F=1$ ).

II. При відбитті від гладкої, рівної поверхні землі, коли виконується критерій Релея  $h < \frac{\lambda}{8 \cdot \sin \gamma}$  - висота нерівностей поверхні землі,  $\gamma$  - кут між падаючим променем і поверхнею землі, існують 4 різні формули для визначення ГПЕ з урахуванням впливу землі:

1) для великих  $\gamma$  і  $r \leq \frac{4h_a h_c}{\lambda}$  (де  $h_a$  - висота антени над поверхнею землі,  $h_c$  - висота розрахункової точки спостереження,  $\lambda$  - довжина хвилі,  $r$  - відстань) у точках максимумів функції  $F$ :

$$\Gamma_{ПЕ\partial} = \frac{P \cdot G}{4\pi \cdot r^2} (1+R)^2, \quad (14)$$

де:  $R=f(\sigma; \epsilon')$  - коефіцієнт відбиття радіохвиль від землі;

$\sigma$  - питома провідність середовища;

$\epsilon'$  - дійсна частина комплексної діелектричної проникненості середовища.

2) для  $\gamma \leq 3^\circ$  і  $r \leq \frac{4h_a h_c}{\lambda}$  в точках максимумів функції  $F$

$$\Gamma_{ПЕ\partial} = \frac{P \cdot G}{\pi \cdot r^2}; \quad (15)$$

3) для малих  $\gamma$  і  $\frac{4h_a h_c}{\lambda} \leq r \leq \frac{18h_a h_c}{\lambda}$

$$\Gamma_{ПЕ\partial} = \frac{P \cdot G}{\pi \cdot r^2} \sin^2\left(\frac{2\pi h_a h_c}{\lambda r}\right); \quad (16)$$

4) для малих  $\gamma$  і  $r \geq \frac{18h_a h_c}{\lambda}$

$$\Gamma_{ПЕ\partial} = \pi P \cdot G \left(\frac{2h_a h_c}{\lambda r^2}\right)^2. \quad (17)$$

Приведені вище формули дозволяють робити розрахунок інтенсивності ЕМП у заданій точці вільного простору з урахуванням впливу землі з задовільною точністю.

Спроби розрахунку інтенсивності ЕМП з урахуванням впливу довільно розташованих поблизу розрахункової точки сторонніх предметів (радіоконтрастних середовищ), а також розрахунку інтенсивності ЕМП з урахуванням паразитного випромінювання поки що не призвели до задовільних результатів.

Найкращим методом оцінки інтенсивності ЕМП в цих випадках все ще залишається метод вимірювання.

### **Нормування ЕМП радіочастотного діапазону на робочих місцях (діапазон частот $1 \text{ кГц} < f < 300 \text{ ГГц}$ )**

Згідно існуючих норм гранично допустимий рівень (ГДР) ЕМП у діапазоні частот 1 кГц - 300 МГц визначається гранично допустимими значеннями напруженості електричної та магнітної складових, тобто електричного та магнітного полів, і це значення залежить від часу дії цього фактора на організм людини протягом робочого дня та гранично допустимого енергетичного навантаження і визначається за формулами:

$$E_{гд} = (E_{Нгд} / T)^{1/2}, \quad H_{гд} = (H_{Нгд} / T)^{1/2} \quad (18)$$

де:  $E_{гд}$  (В/м) і  $H_{гд}$  (А/м) – гранично допустимі значення напруженості електричного і магнітного полів;

$T$  (год) - час впливу ЕМП;

$E_{Нгд}$  ((В/м)<sup>2</sup>·год) і  $H_{Нгд}$  ((А/м)<sup>2</sup>·год) – гранично допустиме енергетичне навантаження протягом робочого дня відповідно для електричної та магнітної складових ЕМП.

Максимально гранично допустимі значення  $E_{гд \text{ мах}}$ ,  $H_{гд \text{ мах}}$  та гранично допустимі значення  $E_{Нгд}$ ,  $H_{Нгд}$  наведені нижче.

**Максимально гранично допустимі значення  $E_{гд \text{ мах}}$ ,  $H_{гд \text{ мах}}$  та гранично допустимі значення  $E_{Нгд}$ ,  $H_{Нгд}$  для ЕМП радіочастотного діапазону**

Параметри і одиниці виміру	Діапазон частот				
	1-10 кГц	10-60 кГц	0,06-3 МГц	3-30 МГц	30 - 300 МГц
$E_{гд \text{ мах}}$ , В/м	1000	700	500	300	80
$E_{Нгд}$ , (В/м) <sup>2</sup> ·год	120000	40000	20000	7000	800
$H_{гд \text{ мах}}$ , А/м	75	57	50	-	3,0*
$E_{Нгд}$ , (А/м) <sup>2</sup> ·год	675	390	200	-	0,72*

\* Примітка: гранично допустимий рівень енергетичного навантаження магнітного поля поширюється на діапазон частот 30-50 МГц.

Згідно існуючих норм гранично допустимий рівень ЕМП радіочастотного діапазону на частотах 300 МГц - 300 ГГц визначається гранично допустимим значенням густини потоку енергії ЕМП і це значення залежить від часу дії цього фактора на організм людини протягом робочого дня

та гранично допустимого енергетичного навантаження і визначається за формулою:

$$ГПЕ_{гд} = K \cdot E_{НГПЕгд} / T, \quad (19)$$

де:  $ГПЕ_{гд}$  (Вт/м<sup>2</sup>, мВт/см<sup>2</sup>, мкВт/см<sup>2</sup>) - гранично допустима величина густини потоку енергії;

$E_{НГПЕгд}$  - гранично допустима величина енергетичного навантаження, яка згідно норм складає 2 Вт · год/м<sup>2</sup> (200 мкВт · год/см<sup>2</sup>);

$K$  - коефіцієнт послаблення біологічної ефективності, який дорівнює:

1 - для усіх випадків впливу, крім опромінь від обертових і скануючих антен;

10 - для випадків опромінення від обертових і скануючих антен з частотою не більш 1 Гц і шпаруватістю не менш 50;

$T$  - час перебування в зоні опромінення за робочу зміну, год.

В усіх випадках максимальне значення  $ГПЕ_{гд}$  не повинне перевищувати 10 Вт/м<sup>2</sup> (1 мВт/см<sup>2</sup>).

### Завдання № 1

Визначити в якій зоні випромінювання джерела ЕМВ знаходиться робоче місце (ближня /Б/, дальня /Д/ або проміжна зона Френеля /П/ ) і заповнити таблицю 1.

#### Вихідні дані:

- тип джерела ЕМВ: *лінійні ізотропні випромінювачі (ІВ)*;
- відстань від джерела ЕМВ до робочого місця: *r*. (див. 1 стов. табл.1);
- частота ЕМВ: *f<sub>ЕМВ</sub>* (див. 1 строку табл.1).

**Таблиця 1. Лінійні ізотропні випромінювачі (ІВ)**

<i>r</i>	<i>f<sub>ЕМВ</sub></i>						
	<i>100</i> <i>кГц</i>	<i>1</i> <i>МГц</i>	<i>27</i> <i>МГц</i>	<i>100</i> <i>МГц</i>	<i>800</i> <i>МГц</i>	<i>1,6</i> <i>ГГц</i>	<i>3</i> <i>ГГц</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>0,5 м</i>							
<i>1 м</i>							
<i>1,5 м</i>							
<i>2 м</i>							
<i>2,5 м</i>							

<i>Продовження таблиці 1</i>							
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
<i>3 м</i>							
<i>5 м</i>							
<i>10 м</i>							
<i>15 м</i>							
<i>25 м</i>							

*\*Примітка:* заповнити графи таблиці наступним чином: ближня зона /Б/, дальня зона /Д/ і проміжна зона Френеля /П/ (при розрахунках використовувати формули (1) – (3)).

### **Завдання № 2**

Визначити в якій зоні випромінювання джерела ЕМВ знаходиться робоче місце (ближня /Б/, дальня /Д/ або проміжна зона Френеля /П/) і заповнити таблицю 2).

**Вихідні дані:**

- тип джерела ЕМВ: *Параболічні круглі спрямовані випромінюючі антени (ПКСВА)*

- максимальний розмір (діаметр) розкриву антени: *D* (див. 1 стов. табл.2);

- відстань від джерела ЕМВ до робочого місця: *r*. (див. 1 стов. табл.2);

- частота ЕМВ: *f<sub>ЕМВ</sub>* (див. 1 строку табл.2).

**Таблиця 2. Параболічні круглі спрямовані випромінюючі антени (ПКСВА)**

<i>D</i> <i>r</i>	<i>f<sub>ЕМВ</sub></i>					
	<i>240 МГц</i>	<i>800 МГц</i>	<i>1600 МГц</i>	<i>2,4 ГГц</i>	<i>12 ГГц</i>	<i>26 ГГц</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
<i>D = 0,2 м</i> <i>r = 0,5 м</i>						
<i>D = 0,3 м</i> <i>r = 1 м</i>						
<i>D = 0,5 м</i> <i>r = 1,5 м</i>						
<i>D = 0,7 м</i> <i>r = 2 м</i>						
<i>D = 1,0 м</i> <i>r = 3 м</i>						

<i>Продовження таблиці 2</i>						
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
<i>D = 1,5 м</i> <i>r = 4 м</i>						
<i>D = 2 м</i> <i>r = 5 м</i>						
<i>D = 2,5 м</i> <i>L<sub>p,m</sub> = 10 м</i>						
<i>D = 3 м</i> <i>r = 25 м</i>						
<i>D = 4 м</i> <i>r = 50 м</i>						

*\*Примітка:* заповнити графи таблиці наступним чином: ближня зона /Б/, дальня зона /Д/ і проміжна зона Френеля /П/ (при розрахунках використовувати формули (4)).

### **Завдання № 3**

Визначити в якій зоні випромінювання джерела ЕМВ знаходиться робоче місце (ближня /Б/, дальня /Д/ або проміжна зона Френеля /П/) і заповнити таблицю 3.

**Вихідні дані:**

- тип джерела ЕМВ: *спрямовані випромінюючі антени (СВА);*
- максимальні розміри розкриву антени: *L<sub>1</sub> і L<sub>2</sub>* (див. 1 стов. табл.3);
- відстань від джерела ЕМВ до робочого місця: *r*. (див. 1 стов. табл.3);
- частота ЕМВ: *f<sub>ЕМВ</sub>* (див. 1 строку табл.3).

**Таблиця 3. Спрямовані випромінюючі антени (СВА)**

<i>L<sub>1</sub></i> <i>L<sub>2</sub></i> <i>r</i>	<i>f<sub>ЕМВ</sub></i>					
	<i>240 МГц</i>	<i>900 МГц</i>	<i>1,8 ГГц</i>	<i>2,7 ГГц</i>	<i>12 ГГц</i>	<i>26 ГГц</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
<i>L<sub>1</sub> = 0,2 м</i> <i>L<sub>2</sub> = 0,35 м</i> <i>r = 0,5 м</i>						
<i>L<sub>1</sub> = 0,3 м</i> <i>L<sub>2</sub> = 0,55 м</i> <i>r = 1 м</i>						
<i>L<sub>1</sub> = 0,5 м</i> <i>L<sub>2</sub> = 1 м</i> <i>r = 1,5 м</i>						
<i>L<sub>1</sub> = 0,7 м</i> <i>L<sub>2</sub> = 1,2 м</i> <i>r = 2 м</i>						



Продовження таблиці 3						
1	2	3	4	5	6	7
$L_1=1,0 \text{ м}$ $L_2=1,8 \text{ м}$ $r=3 \text{ м}$						
$L_1=1,5 \text{ м}$ $L_2=2,8 \text{ м}$ $r=2 \text{ м}$						
$L_1=2 \text{ м}$ $L_2=3,6 \text{ м}$ $r=5 \text{ м}$						
$L_1=2,5 \text{ м}$ $L_2=4,7 \text{ м}$ $r=10 \text{ м}$						
$L_1=3 \text{ м}$ $L_2=5,6 \text{ м}$ $r=25 \text{ м}$						
$L_1=4 \text{ м}$ $L_2=7,7 \text{ м}$ $r=50 \text{ м}$						

**\*Примітка:** заповнити графи таблиці наступним чином: ближня зона /Б/, дальня зона /Д/ і проміжна зона Френеля /П/ (при розрахунках використовувати формули (5)).

#### Завдання № 4

З урахуванням попередніх, приведених у табл.1 результатів, визначити інтенсивність ЕМП на робочому місці /напруженість електричної (Е, В/м) та магнітної (Н, А/м) складових ЕМП для частот  $f < 300 \text{ МГц}$  та густину потоку енергії (ГПЕ, Вт/м<sup>2</sup>) ЕМП для частот  $f > 300 \text{ МГц}$  /.

##### Вихідні дані:

- тип джерела ЕМВ: лінійні ізотропні випромінювачі (ІВ);
- відстань від джерела ЕМВ до робочого місця:  $r$ , м (див. табл.4);
- частота ЕМВ:  $f_{EMV}$  (кГц; МГц; ГГц) (див. табл.4);
- довжина провідника (антени)  $l$ , м (див. табл.4);
- сила струму в провіднику (антені)  $I$ , А (див. табл.4);
- потужність випромінювання  $P$ , Вт (див. табл.4);
- коефіцієнт підсилення для ізотропного випромінювача  $G=1$ ;
- відносна діелектрична проникність середовища для повітря  $\epsilon_R = 1$ ;
- діелектрична проникність вакууму  $\epsilon_0 = 1/(36 \cdot \pi) \cdot 10^{-9} \text{ Ф/м}$ .

**Таблиця 4.** Лінійні ізотропні випромінювачі (ІВ)

$r$	$f_{EMV}$ (кГц; МГц; ГГц) / $l$ (м) / $I$ (А) / $P$ (Вт)						
	$f=100 \text{ кГц}$ $l=10 \text{ м}$ $I=0,45 \text{ А}$ $P=10 \text{ Вт}$	$f=1 \text{ МГц}$ $l=5 \text{ м}$ $I=0,32 \text{ А}$ $P=5 \text{ Вт}$	$f=27 \text{ МГц}$ $l=2,75 \text{ м}$ $I=0,24 \text{ А}$ $P=3 \text{ Вт}$	$f=100 \text{ МГц}$ $l=0,75 \text{ м}$ $I=0,2 \text{ А}$ $P=2 \text{ Вт}$	$f=800 \text{ МГц}$ $l=0,09 \text{ м}$ $I=0,17 \text{ А}$ $P=1,5 \text{ Вт}$	$f=1,6 \text{ ГГц}$ $l=0,045 \text{ м}$ $I=0,14 \text{ А}$ $P=1 \text{ Вт}$	$f=3 \text{ ГГц}$ $l=0,025 \text{ м}$ $I=0,1 \text{ А}$ $P=0,5 \text{ Вт}$
1	2	3	4	5	6	6	7



**\*Примітка:**

1. При розрахунках  $E$ ,  $H$  та  $GPE$  використовувати формули (6) – (9) та формулу (12).
2. При розрахунках  $E_{гд}$ ,  $H_{гд}$  та  $GPE_{гд}$  використовувати формули (18) та (19).

**Завдання № 5**

З урахуванням попередніх, приведених у табл.2 результатів, визначити інтенсивність ЕМП на робочому місці /напруженість електричної ( $E$ , В/м) та магнітної ( $H$ , А/м) складових ЕМП для частот  $f < 300$  МГц та густину потоку енергії ( $GPE$ , Вт/м<sup>2</sup>) ЕМП для частот  $f > 300$  МГц /.

**Вихідні дані:**

- тип джерела ЕМВ: *параболічні круглі спрямовані випромінюючі антени;*
- максимальний розмір (діаметр) розкриття антени:  $D$ , м (див. табл.5);
- відстань від джерела ЕМВ до робочого місця:  $r$ , м (див. табл.5);
- частота ЕМВ:  $f_{EMB}$ , МГц, ГГц (див. табл.5);
- потужність випромінювання  $P$ , Вт (див. табл.5);
- коефіцієнт підсилення антени  $G$ , дБ – визначається з урахуванням існуючої діаграми спрямованості антени (див. табл.5);

**Таблиця 5. Параболічні круглі спрямовані випромінюючі антени (ПКСВА)**

$D$ $r$	$f_{EMB}$ (МГц;ГГц) / $G$ (дБ) / $P$ (Вт)					
	$f=240$ МГц $P=50$ Вт	$f=800$ МГц $P=40$ Вт	$f=1,6$ ГГц $P=30$ Вт	$f=2,4$ ГГц $P=4$ Вт	$F=12$ ГГц $P=2$ Вт	$f=26$ ГГц $P=0,7$ Вт
$1$	$2$	$3$	$4$	$5$	$6$	$7$
$D = 0,2$ м $r = 0,5$ м	$G = 2$ дБ $E=$ $H=$ $E_{гд}=$ $H_{гд}=$ $CH \rightarrow$	$G = 3$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 4$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 5$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 6$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 7$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$
$D = 0,3$ м $r = 1$ м	$G = 3$ дБ $E=$ $H=$ $E_{гд}=$ $H_{гд}=$ $CH \rightarrow$	$G = 4$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 5$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 6$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 7$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 8$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$
$D = 0,5$ м $r = 1,5$ м	$G = 4$ дБ $E=$ $H=$ $E_{гд}=$ $H_{гд}=$ $CH \rightarrow$	$G = 5$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 6$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 7$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 8$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 9$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$
$D = 0,7$ м $r = 2$ м	$G = 6$ дБ $E=$ $H=$ $E_{гд}=$ $H_{гд}=$ $CH \rightarrow$	$G = 7$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 8$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 9$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 10$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$	$G = 11$ дБ $GPE=$  $GPE_{гд}=$  $CH \rightarrow$

<i>Продовження таблиці 5</i>						
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
<i>D = 1,0 м r = 3 м</i>	<i>G = 8 дБ E= H= E<sub>Гд</sub>= H<sub>Гд</sub>= CH→</i>	<i>G = 9 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 10 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 11 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 12 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 13 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>
<i>D = 1,5 м r = 4 м</i>	<i>G = 10 дБ E= H= E<sub>Гд</sub>= H<sub>Гд</sub>= CH→</i>	<i>G = 11 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 12 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 13 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 14 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 15 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>
<i>D = 2 м r = 5 м</i>	<i>G = 12 дБ E= H= E<sub>Гд</sub>= H<sub>Гд</sub>= CH→</i>	<i>G = 12 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 13 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 14 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 15 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 16 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>
<i>D = 2,5 м L<sub>р.м</sub> = 10 м</i>	<i>G = 14 дБ E= H= E<sub>Гд</sub>= H<sub>Гд</sub>= CH→</i>	<i>G = 15 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 16 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 15 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 16 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 17 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>
<i>D = 3 м r = 25 м</i>	<i>G = 16 дБ E= H= E<sub>Гд</sub>= H<sub>Гд</sub>= CH→</i>	<i>G = 17 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 18 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 19 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 20 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 21 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>
<i>D = 4 м r = 50 м</i>	<i>G = 18 дБ E= H= E<sub>Гд</sub>= H<sub>Гд</sub>= CH→</i>	<i>G = 19 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 20 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 21 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 22 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>	<i>G = 23 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>Гд</sub>=  CH→</i>

**\*Примітка:**

1. При розрахунках **E**, **H** та **ГПЕ** використовувати формули (8) – (12).
2. При розрахунках **E<sub>Гд</sub>**, **H<sub>Гд</sub>** та **ГПЕ<sub>Гд</sub>** використовувати формули (18) та (19).

### **Завдання № 6**

З урахуванням попередніх, приведених у табл.3 результатів, визначити інтенсивність ЕМП на робочому місці /напруженість електричної (E, В/м) та магнітної (H, А/м) складових ЕМП для частот  $f < 300$  МГц та густину потоку енергії (ГПЕ, Вт/м<sup>2</sup>) ЕМП для частот  $f > 300$  МГц /.

**Вихідні дані:**

- тип джерела ЕМВ: *спрямовані випромінюючі антени (СВА);*

- максимальні розміри розкриття антени:  $L_1$  і  $L_2$  (див. табл.6);
- відстань від джерела ЕМВ до робочого місця:  $r$ , м (див. табл.6);
- частота ЕМВ:  $f_{EMV}$ , МГц, ГГц (див. табл.6);
- потужність випромінювання  $P$ , Вт (див. табл.6);
- коефіцієнт підсилення антени  $G$ , дБ – визначається з урахуванням існуючої діаграми спрямованості антени (див. табл.6);

**Таблиця 6. Спрямовані випромінюючі антени (СВА)**

$L_1$ $L_2$ $r$	$f_{EMV}$ (МГц;ГГц) / $G$ (дБ) / $P$ (Вт)					
	$f=240$ МГц $P=50$ Вт	$f=900$ МГц $P=40$ Вт	$f=1,8$ ГГц $P=30$ Вт	$f=2,7$ ГГц $P=4$ Вт	$f=12$ ГГц $P=2$ Вт	$f=26$ ГГц $P=0,7$ Вт
1	2	3	4	5	6	7
$L_1=0,2$ м $L_2=0,35$ м $r=0,5$ м	$G=3$ дБ $E=$ $H=$ $E_{Гд}=$ $H_{Гд}=$ $CH\rightarrow$	$G=4$ дБ $ГПЕ=$	$G=5$ дБ $ГПЕ=$	$G=6$ дБ $ГПЕ=$	$G=7$ дБ $ГПЕ=$	$G=8$ дБ $ГПЕ=$
$L_1=0,3$ м $L_2=0,55$ м $r=1$ м	$G=3$ дБ $E=$ $H=$ $E_{Гд}=$ $H_{Гд}=$ $CH\rightarrow$	$G=4$ дБ $ГПЕ=$	$G=5$ дБ $ГПЕ=$	$G=6$ дБ $ГПЕ=$	$G=7$ дБ $ГПЕ=$	$G=8$ дБ $ГПЕ=$
$L_1=0,5$ м $L_2=1$ м $r=1,5$ м	$G=4$ дБ $E=$ $H=$ $E_{Гд}=$ $H_{Гд}=$ $CH\rightarrow$	$G=5$ дБ $ГПЕ=$	$G=6$ дБ $ГПЕ=$	$G=7$ дБ $ГПЕ=$	$G=8$ дБ $ГПЕ=$	$G=9$ дБ $ГПЕ=$
$L_1=0,7$ м $L_2=1,2$ м $r=2$ м	$G=6$ дБ $E=$ $H=$ $E_{Гд}=$ $H_{Гд}=$ $CH\rightarrow$	$G=7$ дБ $ГПЕ=$	$G=8$ дБ $ГПЕ=$	$G=9$ дБ $ГПЕ=$	$G=10$ дБ $ГПЕ=$	$G=11$ дБ $ГПЕ=$
$L_1=1,0$ м $L_2=1,8$ м $r=3$ м	$G=8$ дБ $E=$ $H=$ $E_{Гд}=$ $H_{Гд}=$ $CH\rightarrow$	$G=9$ дБ $ГПЕ=$	$G=10$ дБ $ГПЕ=$	$G=11$ дБ $ГПЕ=$	$G=12$ дБ $ГПЕ=$	$G=13$ дБ $ГПЕ=$
$L_1=1,5$ м $L_2=2,8$ м $r=2$ м	$G=10$ дБ $E=$ $H=$ $E_{Гд}=$ $H_{Гд}=$ $CH\rightarrow$	$G=11$ дБ $ГПЕ=$	$G=12$ дБ $ГПЕ=$	$G=13$ дБ $ГПЕ=$	$G=14$ дБ $ГПЕ=$	$G=15$ дБ $ГПЕ=$

<i>Продовження таблиці 6</i>						
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
<i>L<sub>1</sub>=2 м L<sub>2</sub>=3,6 м r = 5 м</i>	<i>G = 12 дБ E= H= E<sub>ГД</sub>= H<sub>ГД</sub>= СН→</i>	<i>G = 12 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>	<i>G = 13 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>	<i>G = 14 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>	<i>G = 15 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>	<i>G = 16 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>
<i>L<sub>1</sub>=2,5 м L<sub>2</sub>=4,7 м r = 10 м</i>	<i>G = 14 дБ E= H= E<sub>ГД</sub>= H<sub>ГД</sub>= СН→</i>	<i>G = 15 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>	<i>G = 16 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>	<i>G = 15 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>	<i>G = 16 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>	<i>G = 17 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>
<i>L<sub>1</sub>=3 м L<sub>2</sub>=5,6 м r = 25 м</i>	<i>G = 16 дБ E= H= E<sub>ГД</sub>= H<sub>ГД</sub>= СН→</i>	<i>G = 17 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>	<i>G = 18 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>	<i>G = 19 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>	<i>G = 20 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>	<i>G = 21 дБ ГПЕ=  ГПЕ<sub>ГД</sub>=  СН→</i>

**\*Примітка:**

1. При розрахунках **E**, **H** та **ГПЕ** використовувати формули (8) – (12).
2. При розрахунках **E<sub>ГД</sub>**, **H<sub>ГД</sub>** та **ГПЕ<sub>ГД</sub>** використовувати формули (18) та (19).

**Додаткові вихідні дані для виконання завдань №7 – №9:**

1. Час роботи з джерелами ЕМВ на робочих місцях: **T**.
2. При визначені відповідності або невідповідності розрахованих рівнів інтенсивності ЕМП на робочих місцях існуючим санітарним нормам (СН) використовувати формули (18) та (19) для розрахунку **E<sub>ГД</sub>**, **H<sub>ГД</sub>** та **ГПЕ<sub>ГД</sub>**.
3. Позначити літерою **B** відповідність санітарним нормам (СН→ **B**) та літерою **H** не відповідність санітарним нормам (СН→ **H**) рівнів інтенсивності ЕМП на робочих місцях.

### **Завдання № 7**

Визначити відповідність розрахованих згідно із завданням №4 рівнів інтенсивності ЕМП на робочих місцях існуючим санітарним нормам (див. табл. 4), якщо безперервний час роботи з джерелами ЕМВ: **T= 2 год.**

### **Завдання № 8**

Визначити відповідність розрахованих згідно із завданням №5 рівнів інтенсивності ЕМП на робочих місцях існуючим санітарним нормам (див. табл. 5), якщо безперервний час роботи з джерелами ЕМВ: **T= 4 год.**

### **Завдання № 9**

Визначити відповідність розрахованих згідно із завданням №6 рівнів інтенсивності ЕМП на робочих місцях існуючим санітарним нормам (див. табл. 6), якщо безперервний час роботи з джерелами ЕМВ: **T= 8 год.**

***Додаткові вихідні дані для виконання завдань №10 – №18:***

*Для спрощення процесу розрахунку розробити за допомогою табличного процесору Microsoft Excel відповідні електроні таблиці.*

**Завдання № 10**

Розробити електроні таблиці у форматі Excel для розрахунку меж зон випромінювання джерел ЕМВ (ближня, проміжна /Френеля/, дальня) за формулами (1) – (5).

**Завдання № 11**

Розробити електроні таблиці у форматі Excel для розрахунку інтенсивності ЕМП у частотному діапазоні  $1 \text{ кГц} < f < 300 \text{ МГц}$  за формулами (6) – (9).

**Завдання № 12**

Розробити електроні таблиці у форматі Excel для розрахунку інтенсивності ЕМП у частотному діапазоні  $300 \text{ МГц} < f < 300 \text{ ГГц}$  за формулами (10) – (12).

**Завдання № 13**

Розробити електроні таблиці у форматі Excel для розрахунку інтенсивності ЕМП на робочих місцях згідно із завданням №1.

**Завдання № 14**

Розробити електроні таблиці у форматі Excel для розрахунку інтенсивності ЕМП на робочих місцях згідно із завданням №2.

**Завдання № 15**

Розробити електроні таблиці у форматі Excel для розрахунку інтенсивності ЕМП на робочих місцях згідно із завданням №3.

**Завдання № 16**

Розробити електроні таблиці у форматі Excel для розрахунку інтенсивності ЕМП на робочих місцях згідно із завданням №4.

**Завдання № 17**

Розробити електроні таблиці у форматі Excel для розрахунку інтенсивності ЕМП на робочих місцях згідно із завданням №5.

**Завдання № 18**

Розробити електроні таблиці у форматі Excel для розрахунку інтенсивності ЕМП на робочих місцях згідно із завданням №6.

### Список літератури

1. Ткачук К. Н., Зацарний В. В., Каштанов С.Ф. та ін. Охорона праці та промислова безпека: навч. посіб. – К.: Лібра, 2010. – 559 с.
2. ДСНіП № 239-96. «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань».
3. ДСНіП № 476-2002. «Державні санітарні норми і правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів».  
рабочих местах».
4. ДСанПін 3.3.6.096-2002. «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів».
5. ГОСТ 12.1.006-84. «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».