

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО РІВНЯ ОПРОМІНЕННЯ ПЕРСОНАЛУ В СУЧАСНОМУ ІНФОРМАЦІЙНОМУ ПРОСТОРИ

Конахович Г. Ф., д-р техн. наук, проф., Одарченко Р. С., Конахович Г. С., Карпов А. В.

Національний авіаційний університет

kszi@ukr.net

Наведено основні види електромагнітного випромінювання, які впливають на життєдіяльність людей. Схарактеризовано методику визначення загального рівня опромінення персоналу на робочих місцях та в місцях відпочинку. Розраховано нормовані показники, які визначають шкідливість електромагнітного випромінювання різних частотних діапазонів.

Ключові слова: електромагнітне поле, модель Хата, напруженість поля, рівень опромінення, потужність випромінювання.

This topic describe main types of electromagnetic radiation, which influence on the vital functions of people. Was designed the method of determination of general level of irradiation of personnel on workplaces and in resting-places. We calculated indexes which determine harmfulness of electromagnetic radiation of different frequency ranges.

Keywords: electromagnetic field, Hata model, field intensity, level of irradiation, power of radiation.

Постановка проблеми

Піклування про охорону праці та здоров'я населення України є одним з важливих завдань владних структур держави. Саме із цієї цілі в 1996 р. з'явилися на світ «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» [1], якими встановлені норми та граничнодопустимі рівні електромагнітних випромінювань. Норми виявилися більш жорсткими, порівняно з тими що існували раніше, особливо в діапазоні частот понад 300 МГц. В їх основу покладені ґрунтовні наукові дослідження.

Разом з тим є дійовим контроль дотримання прийнятих на державному рівні санітарних норм, особливо щодо дії електромагнітного випромінювання мобільних телефонів при їх використанні, базових станцій, радіорелейних ліній тощо, як взагалі всім населенням, так і у виробничих цілях, тобто забезпеченні належної охорони праці.

Аналіз досліджень і публікацій

Є багато досліджень і публікацій із визначення впливу електромагнітного випромінювання на організм людини.

Дослідженнями багатьох зарубіжних (Adey W.P., 1977; Niatanen M., 2000; Michaelson S., 1991) та вітчизняних учених (Думанський Ю.Д., 1975; Сердюк А.М., 1977; Темурьянець Н.А., 2001; Біткін С.В., 2007; Мартинюк В.С., 2008) переконливо доведено, що електромагнітне випромінювання істотно впливає на стан здоров'я людини.

Проте, методика визначення екологічно небезпечних зон, уражених внаслідок електромагнітного випромінювання публікується вперше.

Постановка завдання

Необхідно визначити електромагнітні чинники, які найбільше впливають на організм людини; розробити модель, яка надасть змогу оцінювати вплив електромагнітного поля на життєдіяльність людей. Для цього необхідно визначити нормовані показники, які саме і будуть вказувати на значимість різних типів опромінення.

Необхідно обґрунтувати методику визначення екологічно небезпечних зон у приміщеннях унаслідок впливу електромагнітних випромінювань, з визначенням всіх необхідних показників.

Виклад основного матеріалу дослідження

Відкриття в 90-х роках XIX ст. електромагнітних хвиль та подальше їх цілеспрямоване активне використання в різноманітних сферах людської діяльності суттєво змінили природний електромагнітний фон і збільшили інтенсивність його впливу на все живе. До атмосферної електрики електричного і магнітного поля Землі і Галактики додалось електромагнітне поле штучного походження. Основними джерелами цього впливу поряд із електромагнітними полями від ліній електропередач (ЛЕП), від радіотелевізійних та радіолокаційних, базових станцій стільникового зв'язку, вважаються ще й електромагнітні поля мобільних телефонів.

До основних джерел електромагнітного випромінювання, які впливають на життєдіяльність організму, віднесемо:

E_1 — випромінювання, яке створюється внаслідок дії базових станцій стільникової системи *NMT, GSM, CDMA*;

E_2 — випромінювання від телевізора;

E_3 — випромінювання від ЕОМ;

E_4 — випромінювання від мікрохвильової печі;

E_5 — випромінювання від радіорелейних станцій;

E_6 — випромінювання від власного мобільного телефону (в активному режимі та режимі очікування);

E_7 — випромінювання від точки доступу Wi-Fi;

E_8 — випромінювання від базової станції WiMAX.

Тоді загальний рівень опромінення визначається за формулою:

$$E_{\Sigma}(L_{\gamma}) = \sum_{i=1}^n a_i E_i(L_{\gamma}), \quad (1)$$

де $E_{\Sigma}(L_{\gamma})$ — потужність випромінювання певного діапазону; L_{γ} — відстань від джерела випромінювання, з урахуванням кількості поверхів, кількості та товщини стін, матеріалів

стін; a_i — нормований коефіцієнт, який визначається як відношення визначеного рівня випромінювання до найбільш небезпечного.

Загальний вплив випромінювання на людину протягом заданого часу визначається за формулою:

$$P_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=0}^{24} b_k a_i E_i(L_{\gamma}), \quad (2)$$

де b_k — коефіцієнт, який показує, наскільки інтенсивним є випромінювання у визначений час доби.

Потужність випромінювання від різних джерел електромагнітного забруднення

Для визначення потужності сигналу від різних джерел у точці прийому випромінювання пропонуємо скористатися моделлю Хата.

Для цього спочатку надамо вигляд поділу радіочастот на діапазони згідно з регламентом радіозв'язку (табл. 1.) [3].

Таблиця 1

Поділ радіочастот на діапазони

Назва діапазону	Частота	Довжина хвилі	Призначення
Міріаметровий	ДНЧ – дуже низькі частоти 3–30 кГц	100–10 км	Дальній радіозв'язок
Кілометровий (довгі хвилі)	НЧ – низькі частоти 30–300 кГц	10–1 км	Радіомовлення
Середні хвилі	СЧ – середні частоти 0,3–3 МГц	1000–100 м	Радіомовлення, мобільний зв'язок, радіонавігація
Короткі хвилі	ВЧ – високі частоти 3–30 МГц	100–10 м	Радіомовлення, мобільний зв'язок, аматорський зв'язок
Метровий	ДВЧ – дуже високі частоти 30–300 МГц	10–1 м	Радіомовлення, телевізійне мовлення, мобільний радіозв'язок
Дециметровий	УВЧ – ультрависокі частоти 0,3–3 ГГц	100–10 см	Телебачення, космічний радіозв'язок і радіолокація, медицина
Сантиметровий	НВЧ – надзвичайно високі частоти 3–30 ГГц	10–1 см	Космічний радіозв'язок і радіолокація, радіонавігація, радіоастрономія, мобільний зв'язок
Міліметровий	КВЧ – крайнє високі частоти 30–300 ГГц	10–1 мм	Космічний радіозв'язок і радіолокація, радіоастрономія, медицина
Дециміліметровий	ГВЧ – гіпер високі частоти 300–3000 ГГц	1–0,1 мм	Космічний радіозв'язок і радіолокація, радіоастрономія, медицина

До характеристик хвиль, від яких залежить результат дії на організм належать:

- частота (довжина хвилі $\lambda = \frac{c}{f}$);
- інтенсивність хвилі — енергія, що падає на одиницю поверхні тіла за одну секунду, а для низькочастотних полів — напруженість електр-

тричного поля E і магнітного поля H .

У світовій практиці є два види норм, які встановлюють межу безпеки:

- густина потоку потужності ГПП (мВт/см²);
- потужність поглинутої дози (специфічна норма поглинання) SAR [*Specific Absorption Rates*] (мВт/г).

Відмінність між ними полягає в тому, що в першому випадку визначається потужність, що падає на одиницю площі, а в другому — енергія, що поглинається в одиниці маси за 1 с.

При поглинанні SAR (1 мВт/г) за 20 хв тканини нагріваються на 1 °С.

Наприклад, для стільникових телефонів Європейські організації рекомендують граничну норму SAR 2 мВт/г.

У зв'язку з цим, наведемо деякі дані інтенсивності випромінювання і деяких моделей телефонів (табл. 2) [3; 4].

Дані з табл. 2 стосуються дещо застарілих моделей телефонів, проте вони частково відображають і сучасну ситуацію серед мобільних пристроїв. Як видно з табл. 2, деякі зразки телефонів за інтенсивністю випромінювання значно перевищують граничнодопустимий рівень, оскільки згідно з санітарними нормами він становить в Україні 2,5 мкВт/см² [9].

Тобто випромінювана потужність на 1 см² більша допустимого значення для населення в 30–55 разів. Дані для інших шкідливих випромінювань, які розглядаються в роботі, зведено до табл. 3.

Таблиця 2

Рівень інтенсивності випромінювання для деяких моделей телефонів

Фірма, тип телефону	Motorola (Star-Tac)	Sony (CMD-Z1)	Nokia (8110)	Ericsson (GF788)	Philips (Spark)
I, мкВт/см ²	48	22–55	75	109	136
SAR, мВт/г	0,33	0,41–0,88	0,73	0,91	1,05–1,06

Таблиця 3

Шкідливі випромінювання

Тип випромінювання	Частота випромінювання	Граничнодопустимі норми випромінювання	Нормовані коефіцієнти a_i
E_1 – випромінювання, яке створюється внаслідок дії базових станцій стільникової системи <i>NMT</i> , <i>GSM</i> , <i>CDMA</i>	<i>NMT</i> – 450 МГц <i>GSM</i> – 900 МГц <i>GSM</i> – 1800 МГц <i>CDMA</i> – 450 МГц	10 мкВт/см ²	0,25
E_2 – випромінювання від телевізора	5 Гц – 500 МГц	10 мкВт/см ²	0,25
E_3 – випромінювання від ЕОМ	5 – 2000 Гц 2 – 400 кГц 400 кГц – 500 МГц	$E_{\text{пду}} = 25 \text{ В/м}$ $B_{\text{пду}} = 250 \text{ нТл}$ $E_{\text{пду}} = 2,5 \text{ В/м}$ $B_{\text{пду}} = 25 \text{ нТл}$ $E_{\text{пду}} = 2,5 \text{ В/м}$ $B_{\text{пду}} = 25 \text{ нТл}$	0,1 1
E_4 – випромінювання від мікрохвильової печі	2,45 ГГц	10 мкВт/см ²	0,25
E_5 – випромінювання від радіорелейних станцій	2–60 ГГц	10 мкВт/см ²	0,25
E_6 – випромінювання від власного мобільного телефону (в активному режимі та режимі очікування)	450 МГц 900 МГц 1800 МГц	2,5 мкВт/см ²	1
E_7 – випромінювання від точки доступу <i>Wi-Fi</i>	2,4 ГГц 5 ГГц	10 мкВт/см ²	0,25
E_8 – випромінювання від базової станції <i>WiMAX</i>	2,5 ГГц 5 ГГц	10 мкВт/см ²	0,25

Примітка. Розрахунок нормованих коефіцієнтів проводиться в такій послідовності:

- вибирають мінімальні граничнодопустимі норми;
- проводять ділення інших граничнодопустимих норм для останніх шкідливих випромінювань;
- беруть обернені значення розрахованих у п. 2 коефіцієнтів, у результаті чого отримують шукані нормовані коефіцієнти a_i .

Слід враховувати, що в Україні постійні магнітні поля, а також змінні ЕМП на частоті 50 Гц нормуються за магнітною H та електричною E складовими ЕМП. Одиницею напруженості магнітного поля є ампер на метр (А/м), електричного поля — вольт на метр (В/м).

Електромагнітні поля частотою 1 кГц — 300 МГц нормуються за інтенсивністю та енергетичними навантаженнями електричних та магнітних полів, урахувавши час впливу. Одиницею напруженості електричного поля є В/м, магнітного поля — А/м, енергетичне навантаження є добуток квадрата потужності ЕМП і часу його впливу, виражається (В/м) · год для електричного поля та (А/м) · год — для магнітного поля. Електромагнітне поле в діапазоні частот 300 МГц — 300 ГГц нормується за інтенсивністю та енергетичним навантаженням щільності потоку енергії (далі — ЩПЕ). Одиницею вимірювання ЩПЕ є Вт/кв. м (дробові одиниці мВт/кв. см, мкВт/кв. см). Енергетичне навантаження — це добуток ЩПЕ падаючого випромінювання і часу його впливу протягом робочої зміни в годинах (год), виражається у Вт · год/кв. м (мВт · год/кв. см, мкВт · год/кв. см). У разі імпульсно-модульованих випромінювань нормованим параметром, що характеризує інтенсивність впливу ЕМП, є середнє значення ЩПЕ [8].

Таким чином, даний поділ на різні групи радіовипромінювання робить важким вибір нормованих коефіцієнтів.

Розрахунок потужності шкідливого радіовипромінювання в точці опромінення

Точкою опромінення називається та область простору, де умовно розташований приймач шкідливого електромагнітного випромінювання.

Отже, наведемо вираз для потужностей сигналів від різних джерел «паразитних» для людини випромінювань у середині приміщень.

$$E_i = P_{\text{прдл}} - L_i, \quad (3)$$

де $P_{\text{прдл}}$ — потужність «передавача» джерела випромінювання; L_i — втрати сигналу на трасі розповсюдження випромінювання.

Далі знайдемо втрати розповсюдження сигналу за допомогою Модель Хата (зовнішній зв'язок), та Сферична модель (зовнішня).

$$f_{\text{дв}}(f, h_1, h_2, d, \text{enn}) = L + T(G(\delta)),$$

де L — втрати медіанного розповсюдження (дБ), δ — стандартна девіація (дБ); f — частота (МГц); $H_m = \min\{h_1, h_2\}$, $H_b = \max\{h_1, h_2\}$, d — відстань, що повинна становити не більше 100 км; enn — сільська місцевість, населенні і густо населенні райони, розповсюдження вище або нижче рівня дахів.

Якщо H_m і/або H_b нижче 1 м, то використовують значення, що дорівнює 1 м. Антена висотою вище ніж 200 м може привести до появи значних похибок. Розповсюдження нижче рівня дахів значить, що H_m і H_b вище рівня дахів. Розповсюдження вище рівня дахів у випадку, коли H_b також вище рівня дахів.

Розрахунок втрат медіанного розповсюдження L :

Перший випадок: $d \leq 0.04$ км

$$L = 34.2 + 20 \log(f) + 10 \log(d^2 + (H_b - H_m)^2 / 10^6)$$

Другий випадок: $d \geq 0.1$ км

$$a(H_m) = (1.1 * \log(f) - 0.7) \min\{10, H_m\} - (1.56 \log(f) - 0.8) + \max\{0, 20 \log(H_m / 10)\}$$

$$b(H_b) = \min\{0, 20 \log(H_b / 30)\}$$

$$a = \begin{cases} a = 1, d \leq 20 \text{ м}; \\ a = 1 + (0.14 + 0.000187f + 0.00107H_b) * (\log d / 20)^{0.8}, 20 \text{ м} < d \leq 100 \text{ м}. \end{cases}$$

Підпункт 1: населена місцевість

$$30 \text{ м} < f \leq 150 \text{ МГц}$$

$$L = 69.6 + 26.2 \log(150) - 20 \log(150 / f) - 13.82 \log(\max\{30, H_b\}) + a[44.9 - 6.55 \log(\max\{30, H_b\})]$$

$$\log(d) - a(H_m) - b(H_b)$$

$$150 \text{ МГц} < f \leq 1500 \text{ МГц}$$

$$L = 69.6 + 26.2 \log(f) - 13.82 \log(\max\{30, H_b\}) + a[44.9 - 6.55 \log(\max\{30, H_b\})]$$

$$\log(d) - a(H_m) - b(H_b)$$

$$1500 \text{ МГц} < f \leq 2000 \text{ МГц}$$

$$L = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(\max\{30, H_b\}) + a[44.9 - 6.55 \log(\max\{30, H_b\})]$$

$$\log(d) - a(H_m) - b(H_b)$$

2000 Ì Æö < f ≤ 3000 Ì Æö

$$L = 46.3 + 33.9 \log(2000) + 10 \log(f / 2000) - 13.82 \log(\max \{30, H_b\}) + a[44.9 - 6.55 \log(\max \{30, H_b\})] \log(d) - a(H_m) - b(H_b)$$

Підпункт 2: слабо населена місцевість

$$L = L(\text{і аїăăăі і і_і і_і} \text{äöäâ ä ö}^3) - 2 \{ \log[\min \{ \max 150, f \}, 2000] / 28 \}^2 - 5.4$$

Підпункт 3: відкритий простір

$$L = L(\text{і аїăăăі і і_і і_і} \text{äöäâ ä ö}^3) - 4.78 \{ \log[\min \{ \max 50, f \}, 2000] / 28 \}^2 + 18.33 * \{ \log[\min \{ \max 50, f \}, 2000] \} - 40.94$$

Третій випадок: $0.04 \hat{e} \hat{i} < d < 0.1 \hat{e} \hat{i}$

$$L = L(0.04) + \frac{[\log(d) - \log(0.04)]}{[\log(0.1) - \log(0.04)]} * [L(0.1) - L(0.04)]$$

Коли L нижче рівня розсіювання у вільному просторі, то використовується значення, що дорівнює значенню розсіювання у вільному просторі $L_{fc} = \frac{\lambda^2}{4\pi d^2}$.

Оцінка стандартного відхилення при нормальних умовах розповсюдження:

Перший випадок:

$$d \leq 0.04 \hat{e} \hat{i}, \quad \delta = 3.5 \text{ дБ.}$$

Другий випадок:

$$0.04 \hat{e} \hat{i} < d < 0.1 \hat{e} \hat{i},$$

$$\delta = 3.5 + \frac{(12 - 3.5)}{(0.1 - 0.04)} (d - 0.04) \text{ дБ розповсюд-$$

ження понад дахами;

$$\delta = 3.5 + \frac{(17 - 3.5)}{(0.1 - 0.04)} (d - 0.04) \text{ дБ розповсюд-$$

ження нижче рівня дахів.

Третій випадок:

$$0.1 \hat{e} \hat{i} < d < 0.2 \hat{e} \hat{i},$$

$$\delta = 12 \text{ дБ розповсюдження над дахами;}$$

$$\delta = 17 \text{ дБ розповсюдження нижче рівня дахів.}$$

Четвертий випадок:

$$0.2 \hat{e} \hat{i} < d < 0.6 \hat{e} \hat{i},$$

$$\delta = 12 + \frac{(9 - 12)}{(0.6 - 0.2)} (d - 0.2) \text{ дБ розповсюджен-$$

ня понад дахами;

$$\delta = 17 + \frac{(4 - 17)}{(0.6 - 0.2)} (d - 0.2) \text{ дБ розповсюджен-$$

ня нижче рівня дахів.

П'ятий випадок:

$$d \leq 0.6 \hat{e} \hat{i},$$

$$\delta = 9 \text{ дБ.}$$

Отже, втрати на розповсюдження різних сигналів від різних джерел:

1. Втрати випромінювання, яке створюється внаслідок дії базових станцій стільникової системи *NMT, GSM, CDMA*:

Розрахунок проводиться за допомогою моделі Хата при комбінуванні різних сценаріїв розповсюдження радіохвиль.

Втрати сигналу оцінюються за наступною формулою:

$$L(\text{çí âí}^3\phi \text{ í}^o - \hat{a} \hat{i} \hat{o} \hat{o} \hat{d}^3\phi \text{ í} \hat{i} \hat{u}) = \\ = L_{\text{Хата}}(\text{çí âí}^3\phi \text{ í} \hat{i} \hat{u} - \text{çí âí}^3\phi \text{ í}^o) + L_{\text{оі}},$$

де L_{wi} — втрати на подолання різного типу перешкод.

Частота вибирається із ряду значень 450, 900, 1800 МГц, залежно від стандарту мережі працюючої базової станції.

2. E_2 — випромінювання від телевізора: доцільно проводити вимірювання за допомогою індикаторів поля, оскільки випромінювання відбувається в широкому діапазоні частот (від кількох кілогерц до сотень мегагерц). Доцільно враховувати при відстанях до точки прийому, які не перевищують 1,5–5 м;

3. E_3 — випромінювання від ЕОМ: оцінюється за тою ж методикою, що й випромінювання від телевізорів;

4. E_4 — випромінювання від мікрохвильової печі: розраховується за допомогою моделі Хата, проте за потужність передавача слід брати потужність випромінювання в напрямі до точки прийому;

5. E_5 — випромінювання від радіорелейних станцій: розрахунок ведеться за допомогою моделі Хата для діапазонів частот, на яких працюють радіорелейні станції;

6. E_6 — випромінювання від власного мобільного телефону (в активному режимі та режимі очікування): проводиться за допомогою моделі Хата в діапазоні частот, на яких працює приймально/передавальний пристрій мобільного телефону;

7. Втрати випромінювання від точки доступу *Wi-Fi* оцінюються за такою формулою:

$$L(\hat{a} \hat{o} \hat{\delta}^3 \hat{\phi} \hat{i} \hat{u} - \hat{a} \hat{o} \hat{\delta}^3 \hat{\phi} \hat{i} \hat{o}) =$$

$$= -27.6 + 20 \log(1000d) + 20 \log(f) +$$

$$+ f \tilde{x} \left(\frac{1000d}{d_{\text{эф}} \hat{i} \hat{\Delta} \hat{\Delta} \hat{\Delta}} \right) L_{\omega_i} + k_f \left(\frac{k_f + 2}{k_f + 1} - b \right) L_f;$$

$$k_f = f \tilde{x} \left(\frac{|h_2 - h_1|}{h_{\text{т}} \hat{\Delta} \hat{\Delta} \hat{\Delta} \hat{\Delta}} \right),$$

де L_{ω_i} — втрати за рахунок внутрішніх стін (середнє значення 5 Дб); L_f — втрати проникнення скрізь підлогу (середнє значення 18,3 Дб); b — емпіричний параметр (середнє значення 0,46),

Частота f дорівнює 2,4 або 5 ГГц, залежно від обраного стандарту мережі бездротового доступу *Wi-Fi* (IEEE 802.11 a, b, g або n) [5; 6].

8. Втрати випромінювання від базової станції *WiMAX*: оцінюються аналогічно втратам випромінювання, яке створюється внаслідок дії базових станцій стільникової системи *NMT*, *GSM*, *CDMA*, з відмінністю у використуваних діапазонах частот (2,5 та 5 ГГц).

Сумарна потужність шкідливого електромагнітного поля оцінюється за допомогою формули (3), з урахуванням нормованих показників, наведених у табл. 3.

Висновки

У статті було розглянуто питання створення методики розрахунку потужності шкідливого електромагнітного випромінювання, що надходить від різних приладів та систем, у середині приміщень. Дана методика надає змогу майже в кожній точці простору визначити електромагнітне «забруднення», яке шкідливо впливає на організм людини.

Серед чинників, які найбільш пагубно впливають на здоров'я та життєдіяльність людини, слід відмітити випромінювання від стільникових телефонів та базових станцій, оскільки саме вони набули сьогодні найбільшого розповсюдження.

Треба відмітити, що граничнодопустимі значення для випромінювань різної частоти не

можуть бути абсолютно ідентичними, тому Міністерству охорони здоров'я потрібно переглянути існуючі норми, розробивши нові, із використанням найновіших досліджень в цій області, запропонувати методи захисту від них. Також необхідним є створення приладів, які б дозволили визначати еквівалентну потужність шкідливих випромінювань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Попов В. Н. Электромагнитное излучение мобильных телефонов на человеческий организм / В. Н. Попов. — Рига : Рижский технический университет. 1999. — С. 184.

2. Гололобов Д. В. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства: метод. пособ. для студ. спец. 45.01.02 «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения» дневной и вечерней форм обучения. — В 3 ч. — Ч. 1. Распространение радиоволн / Д. В. Гололобов, В. Б. Кирильчук. — Мн. : БГУИР, 2003. — С. 124.

3. Ильченко М.Е., Калинин В.И., Нарытник Т.Н. Экологическая безопасность и микроволновые телекоммуникационные технологии: материалы международного симпозиума «Инженерная экология — 2009». — М., 2009.

4. Гуляев Ю., Булгаков Б., Нарытник Т., Сайко В. Мобильная связь и телефония / Телекоммуникационное радиоизлучение. — К. : Винахідник і раціоналізатор, 2004. — С. 204

5. Росс Дж. Wi-Fi Беспроводная сеть / Дж. Росс. — М. : НТ ПРЕСС, 2007. — С. 374.

6. Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи. — 2-е изд., исп. и доп. / И. В. Шахнович. — М. : Техносфера, 2006. — С. 288.

7. Вишне夫斯基 В. М. Энциклопедия *WiMAX*: Путь к 4G / В. М. Вишне夫斯基, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. — М. : Техносфера, 2009. — С. 472.

8. Наказ министерства охорони здоров'я України № 476 «Про затвердження Державних санітарних норм та правил при роботі з джерелами електромагнітних полів» від 18.12.2002.

9. Наказ министерства охорони здоров'я України № 476 «Про затвердження Державних санітарних правил та норм» від 01.08.1996.

Стаття надійшла до редакції 22.12.2010.