

modulation of waves in nonlinear media" *J. Exp.Theor. Physics*, vol. 61, no. 1(7), pp.118-134, 1971.
9. P.V. Frangos, D.L. Jaggard, "A numerical solution to the Zakharov-Shabat inverse scattering problem," *IEEE Trans. on Antennas and propagation*, vol.39, pp.74-79, Jan 1991. 10. Gaobiao Xiao, Ken'ichiro Yashiro, "An Efficient Algorithm for Solving Zakharov-Shabat Inverse scattering Problem," *IEEE Trans. on Antennas and Prop.*, vol. 50, pp.807-811, June 2002.

УДК 614.875

В.О. Нічога^{1,2}, П.Б. Дуб¹, Е. Грудзінський³

¹Фізико-механічний інститут НАН України,

²Національний університет "Львівська політехніка",

³Технічний університет "Вроцлавська політехніка"

ГРАНИЧНОДОПУСТИМИ РІВНІ ТЕХНОГЕННИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ КРАЇН ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ І УКРАЇНИ

© Нічога В.О., Дуб П.Б., Грудзінський Е., 2006

Наведено характеристику нормативів країн Європейського Союзу і України стосовно граничнодопустимих рівнів напруженості техногенних електромагнітних полів для охорони працівників.

The characteristic of European Union's and Ukraine's standards concerning acceptable levels of technogenic electromagnetic field strength for protection of workers is given in the article.

Вступ

Зростання за останні десятиріччя систем електроенергетики, телекомунікацій, радіолокації, а також значної кількості електронних пристроїв у медицині, промисловості та в домашньому господарстві спричинило поступове зростання інтенсивності техногенних електромагнітних полів (ЕМП) на робочих місцях, у побуті та довкіллі. У діапазоні частот 0,1 – 300 МГц головними джерелами електромагнітного випромінювання є пристрої радіозв'язку, такі як радіо- і телепередавачі, радіотелефони і їх базові підстанції, а також промислові пристрої, такі як нагрівачі, зокрема високочастотні, установки для діатермії тощо. Але найбільшими джерелами випромінювання, зважаючи на широку смугу, є мікрохвильові випромінювання (300 МГц ÷ 300 ГГц): телепередавачі, радіолінії, радіотелефони, мобільний зв'язок, мікрохвильові печі, УВЧ нагрівачі і радіолокаційні станції.

У статті розглянуто і проаналізовано нормативи безпеки і гігієни праці в техногенних ЕМП країн Європейського Союзу, Польщі й України.

Основні технічні параметри, які нормують опромінення техногенними ЕМП

Тепер в нормативній документації нормують такі параметри:

– граничнодопустимі рівні (ГДР) електричних E і магнітних H полів, які виражаються у В/м ы А/м відповідно;

– граничнодопустиме енергетичне навантаження (енергетична експозиція) електричного поля $D_E(f)$, що дорівнює добутку квадрата напруженості електричного поля і часу його впливу та виражається в (В/м)²·год;

– граничнодопустиме енергетичне навантаження (енергетична експозиція) магнітного поля $D_H(f)$, що дорівнює добутку квадрата напруженості магнітного поля і часу його впливу та виражається в (А/м)²·год;

– густина потоку енергії (ГПЕ) – S , яка нормується в діапазоні частот 300 МГц–300 ГГц і одиницею вимірювання якої є Вт/м²;

– питома потужність поглинання SAR (Specific Adsorption Rate), яка виражається в Вт/кг. Цей параметр є базовим на частотах 0,3–300 ГГц у зарубіжній нормативній документації (НД) і визначає нагрівання тканин тіла.

Нормативна база, що визначає дію техногенних ЕМП на біоекосистеми

Питання забезпечення захисту від дії техногенних ЕМП має дуже важливе значення. Суттєвим моментом у цьому питанні є створення національної нормативної бази, яка б передусім регламентувала граничнодопустимі рівні (ГДР) дії ЕМП.

У межах Міжнародної асоціації з захисту від випромінювань (IRPA – International Radiation Protection Association) у 70-х роках була створена спеціальна робоча група з провідних учених для оцінювання небезпеки ЕМП для здоров'я людей і визначення безпечних рівнів. Найінтенсивніші дослідження ефектів впливу ЕМП проводили в Німеччині [1].

Внаслідок цих досліджень була прийнята постанова, яка стала частиною "Федерального акту Німеччини з контролю за випромінюваннями". У цьому документі вперше пояснювали проблеми, які зв'язані з дією ЕМП.

Координацію національних комітетів із захисту населення від неіонізуючих випромінювань здійснює "Міжнародна комісія з радіаційного захисту населення від неіонізуючого випромінювання" (ICNIRP), яка ще в 1988 р. рекомендувала граничнодопустимі рівні дії ЕМП [2].

У міру інтеграції європейських країн в єдине співтовариство аналогічні документи почали набувати міжнародного характеру. У січні 1995 року "Європейський комітет зі стандартизації в електротехніці CENELEC" (Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique) видав два стандарти, які визначають європейські норми впливу ЕМП на людину на низьких (від 0 Гц до 10 кГц) частотах ENV 50166-1 [3] і на високих (від 10 кГц до 300 ГГц) частотах ENV 50166-2 [4]. У цих документах розрізняються професійні норми, що діють на робочих місцях, і громадські (для населення, побуту та навколишнього середовища).

На сьогодні вчені світу мають різні точки зору на величину ГДР неіонізуючого ЕМ випромінювання. Так, наприклад, вчені країн СНД (зокрема і Росії) за основу беруть нетеплову, біологічну дію ЕМП і визначають біоефекти, які можуть бути спричинені навіть низьким рівнем поля. У зв'язку з цим нормативи цих країн є дуже жорсткими, особливо для населення. Ці нормативи враховують те, що основними вимогами для встановлення безпечного рівня ЕМП є відсутність у людини навіть тимчасового порушення гомеостазу, а також напруження захисних і адаптаційно-компенсаторних механізмів протягом тривалого часу. Отже, граничнодопустимі рівні ЕМП визначають такі його значення, за яких опромінення не викликає у людей захворювань у період опромінення або в будь-який період після дії ЕМП.

Своєю чергою, в зарубіжних стандартах при визначенні ГДР враховують значення напруженості ЕМП, при перевищенні яких виникають доведено небезпечні наслідки опромінення.

У зв'язку з цим нормативи ICNIRP, CENELEC, США та деяких європейських країн суттєво відрізняються від нормативів країн СНД.

Експериментальні дані як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників, незважаючи на розбіжності їхніх поглядів, свідчать про високу біологічну активність ЕМП в усіх частотних діапазонах. При порівняно високих рівнях опромінюючого ЕМП сучасна теорія визнає тепловий механізм дії. При порівняно низьких рівнях ЕМП прийнято говорити про нетепловий або інформаційний характер дії ЕМП на організм. Проте механізм дії ЕМП у цьому діапазоні ще недостатньо вивчений.

Варіанти дії ЕМП на біоекосистеми, а також на людський організм, дуже різноманітні. Але загалом на біологічну реакцію людини впливають такі параметри ЕМП: 1) інтенсивність ЕМП, 2) частота випромінювання, 3) тривалість опромінення, 4) модуляція сигналу, 5) періодичність дії, 6) комбінації частот ЕМП. Потрібно зазначити, що поєднання вказаних параметрів може давати суттєво різні наслідки реакції опроміненого біологічного об'єкта.

Національні системи стандартів є основою для реалізації принципів електромагнітної безпеки. Системи стандартів об'єднують у себе нормативи, які обмежують рівні електричних полів (ЕП), магнітних полів (МП) і ЕМП різних частотних діапазонів. Ці обмеження реалізуються введенням ГДР для різних умов опромінення і різних категорій людей.

В Україні система стандартів з електромагнітної безпеки (ЕМБ), так само, як і в інших країнах СНД, складається поки що з Державних стандартів (ГОСТ) [10, 11] колишнього Радянського Союзу і Санітарних правил і норм (СанПіН) та Санітарних норм (СН) 1982–1998 рр. Крім цих документів у 1996 р. в Україні введені в дію "Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань" [5], у 2002 році – „Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів”(ДСНіП 3.3.6-096-2002) [6].

Державні стандарти з нормування допустимих рівнів впливу ЕМП входять у групу Системи стандартів безпеки праці (ССБП). Ці стандарти містять вимоги, норми і правила, які спрямовані на забезпечення безпеки, збереження здоров'я та працездатності людини під час праці. Вони є найбільше загальними документами.

Санітарні правила і норми (СанПіН) регламентують гігієнічні вимоги детальніше і в більш конкретних ситуаціях опромінення, а також до окремих видів продукції. За своєю структурою ця НД включає ті ж основні пункти, що і Державні стандарти, але одночасно викладає їх детальніше. Здебільшого СанПіН супроводжують методичними вказівками з проведення контролю електромагнітного оточення і проведення захисних заходів.

Залежно від відношення до опромінення ЕМП в НД України розрізняють два типи опромінення: професійне (для працівників) і непрофесійне (для населення). Для умов професійного опромінення характерним є різноманітність режимів генерації і варіантів опромінення.

Система санітарно-гігієнічного нормування ГДР ЕМП для населення враховує принципи введення обмежень для конкретних випадків опромінення. Можна виділити такі види умов опромінення, на які для населення встановлені спеціально розроблені Санітарно-гігієнічні норми: елементи систем стільникового зв'язку та інших видів рухомого зв'язку, всі типи стаціонарних радіотехнічних об'єктів (включаючи радіоцентри, радіо- і телевізійні станції, радіолокаційні і радіорелейні станції, наземні станції супутникового зв'язку, об'єкти транспорту з мобільними передавальними радіотехнічними засобами при їх роботі в штатному режимі в місцях базування), відеодисплейні термінали і монітори персональних комп'ютерів, НВЧ-печі, індукційні печі.

На рис. 1 і 2 показані частотні залежності ГДР за електричною і магнітною компонентами відповідно до НД, яка діє в Україні для умов професійного опромінення.

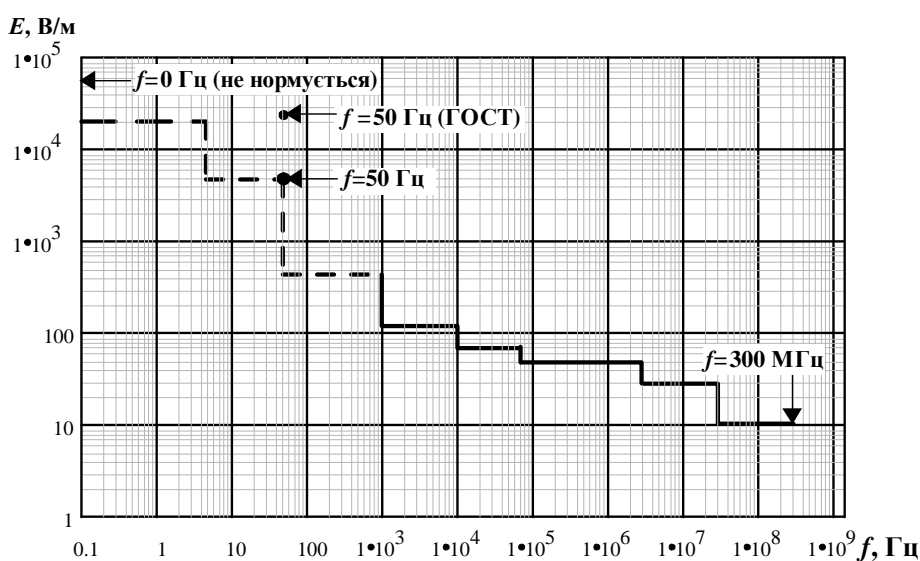


Рис. 1. Граничнодопустимі рівні електричного поля, які чинні в Україні

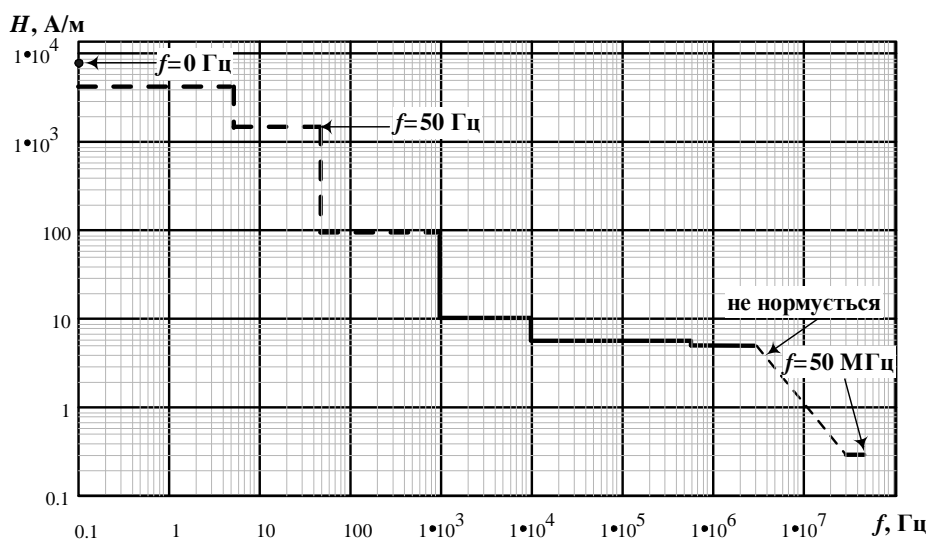


Рис. 2. Граничнодопустимі рівні магнітного поля, які чинні в Україні [6]

Варто зазначити, що ГДР для професійного опромінювання ЕМП, на думку авторів, не повною мірою відповідають потребам сьогодення, оскільки вони є неповними і не визначають значення ГДР на частотах, більших, ніж 300 МГц за E і 50 МГц за H . У частотному діапазоні 0–1 кГц нормується тільки амплітудне значення ГДР імпульсних полів.

Значний інтерес становить порівняння ГДР, які діють в Україні, з відповідними значеннями ГДР, які діють у Польщі [7, 12, 13]. У табл. 1 і 2 та на рис.3 (криві 1, 2) наведені значення ГДР за електричною (ламана крива 2) і магнітною (ламана крива 1) компонентами ЕМП згідно з НД Польщі [7].

Таблиця 1

Значення ГДР $E_1(f)$ і енергетичної експозиції $D_E(f)$ за електричною складовою (Польща)

№ п/п	Діапазон частот	$E_1(f)$, В/м	$D_E(f)$, (В/м) ² ·год
1	$0 \text{ Гц} \leq f \leq 0.5 \text{ Гц}$	20 000	$3,2 \cdot 10^9$
2	$0.5 \text{ Гц} < f \leq 300 \text{ Гц}$	10 000	$8 \cdot 10^8$
3	$0.3 \text{ кГц} < f \leq 1 \text{ кГц}$	$100/f$	$8 \cdot 10^4/f^2$
4	$1 \text{ кГц} < f \leq 3 \text{ МГц}$	100	$8 \cdot 10^4$
5	$3 \text{ МГц} < f \leq 15 \text{ МГц}$	$300/f$	$7,2 \cdot 10^5/f^2$
6	$0.015 \text{ ГГц} < f \leq 3 \text{ ГГц}$	20	3 200
7	$3 \text{ ГГц} < f \leq 300 \text{ ГГц}$	$0.16f + 19.5$	$(f/2 + 55)^2$

Таблиця 2

Значення ГДР $H_1(f)$ і енергетичної експозиції $D_H(f)$ за магнітною складовою (Польща)

№ п/п	Діапазон частот	$H_1(f)$, А/м	$D_H(f)$, (А/м) ² ·год
1	$0 \text{ Гц} \leq f \leq 0.5 \text{ Гц}$	8 000	$5,12 \cdot 10^8$
2	$0.5 \text{ Гц} < f \leq 50 \text{ Гц}$	200	$3,2 \cdot 10^5$
3	$0.05 \text{ кГц} < f \leq 1 \text{ кГц}$	$10/f$	$800/f^2$
4	$1 \text{ кГц} < f \leq 800 \text{ кГц}$	10	800
5	$0.8 \text{ МГц} < f \leq 150 \text{ МГц}$	$8/f$	$512/f^2$
6	$0.15 \text{ ГГц} < f \leq 3 \text{ ГГц}$	0.053	0.022

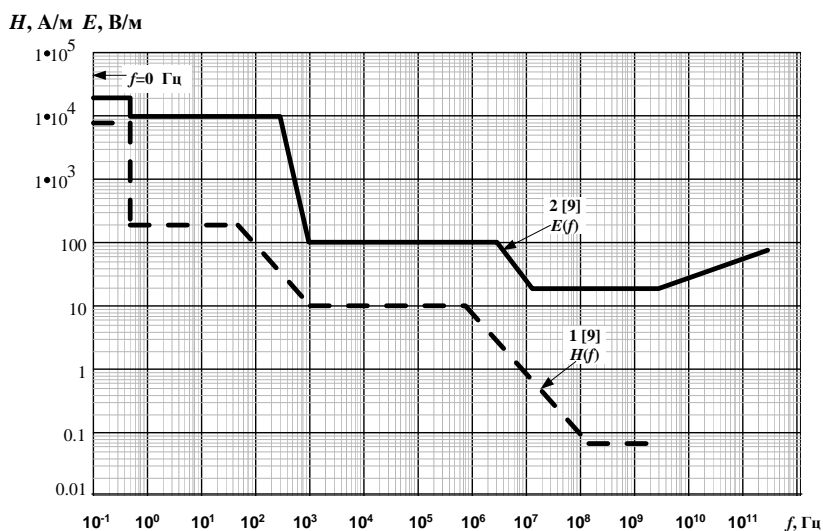


Рис. 3. ГДР за E і H , які діють у Польщі (в квадратних дужках на рисунку зазначена література, з якої взяті числові дані)

Потрібно зазначити, що навіть побіжний аналіз табл. 1, 2 і рис.3 показує, що діюча НД Польщі повністю покриває частотний діапазон за E компонентою від 0 до 300 ГГц і H компонентою від 0 до 3 ГГц. Крім цього, для зазначених діапазонів частот визначені значення енергетичної експозиції D_E і D_H при восьмигодинному опроміненні. НД Польщі визначає також три зони навколо джерела ЕПМ:

1. Зона безпечна, в якій $E_0(f)=E_1(f)/3$ і $H_0(f)=H_1(f)/3$.
2. Зона середня, в якій дозволено перебування протягом 8 год. Ці значення ГДР за $E_1(f)$ і $H_1(f)$ наведені в табл. 1 і 2.
3. Зона загрозна, в якій $E_0(f)=10E_1(f)$ і $H_0(f)=10H_1(f)$.

Таблиця 3

ГДР і ГПЕ згідно з нормами ІРРА*

№ п/п	Діапазон частот	E , В/м	H , А/м	S , Вт/м ²
1	0 ÷ 1 Гц	10000	$3,2 \cdot 10^4$	
2	1 ÷ 8 Гц	10000	$3,2 \cdot 10^4 / f^2$	
3	0,025 ÷ 2,874 кГц	$250/f$	$4/f$	
4	2,874 ÷ 5,5 кГц	87	$4/f$	
5	5,5 ÷ 100 кГц	87	0,73	
6	0,1 ÷ 1 МГц	87	$0,23/f^{1/2}$	
7	1 ÷ 10 МГц	$87/f^{1/2}$	$0,23/f^{1/2}$	
8	10 ÷ 400 МГц	27,5	0,073	2
9	400 ÷ 2000 МГц	$1,375/f^{1/2}$	$0,0037/f^{1/2}$	$f/1000$
10	2 ÷ 300 ГГц	61	0,16	10

Таблиця 4

ГДР і ГПЕ згідно зі стандартами США*

№ п/п	Діапазон частот	E , В/м	H , А/м	S_E , Вт/м ²	S_H , Вт/м ²
1	3 кГц ÷ 100 кГц	614	163	10^3	10^7
2	0,1 МГц ÷ 1,34 МГц	614	$16,3/f$	10^3	$10^5/f^2$
3	1,34 МГц ÷ 3,0 МГц	$823,8/f$	$16,3/f$	$1800/f^2$	$10^3/f^2$
4	3 МГц ÷ 30 МГц	$823,8/f$	$16,3/f$	$1800/f^2$	$10^3/f^2$
5	30 МГц ÷ 100 МГц	27,5	$58,3/f^{1,668}$	2	$9,4 \cdot 10^2 / f^{3,336}$
6	100 МГц ÷ 300 МГц	27,5	0,0729	2	—
7	300 МГц ÷ 3000 МГц	—	—	$f/150$	—
8	3000 МГц ÷ 15000 МГц	—	—	$f/150$	—
9	15 ГГц ÷ 300 ГГц	—	—	100	—

* у формули в табл. 3 і 4 частоту треба підставляти в тих самих одиницях, в яких вказаний частотний діапазон.

Для порівняння в табл. 3 наведені відповідні значення ГДР згідно з нормами IRPA, а в табл. 4 – згідно з американським стандартом ANSI (IEEE C95.1-1992) [13].

Порівняння ГДР країн Європейського Союзу, Польщі і України

Аналізуючи чинну НД України для умов професійного опромінення, можемо зробити деякі висновки:

1. НД України ДСНіП 3.36-096 2002 р. [6] не регламентує ГДР постійного електричного поля.
2. НД України регламентує ГДР магнітного і електричного полів частотою 50 Гц. У той же час ГДР електричного поля частотою 50 Гц не збігається з чинним в Україні ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ.
3. НД України нормує значення ГДР напруженості магнітного поля H в діапазоні частот 1 кГц–50 МГц за винятком частот 3–30 МГц. Значення ГДР напруженості електричного поля E нормуються в діапазоні частот 1 кГц–300 МГц.
4. НД України не нормує значення ГДР напруженості магнітного поля на частотах 50 МГц–300 МГц.
5. НД України на частотах 300 кГц ÷ 300 ГГц нормує тільки значення густини потоку енергії (ГПЕ) залежно від тривалості дії ЕМП. Причому при тривалості робочого дня 8 год ГПЕ становить 25 мкВт/см².
6. ГДР техногенних ЕМП, які визначені в НД Польщі [7], є найповнішими серед східноєвропейських країн і охоплюють весь частотний діапазон 0–3 (300) ГГц.

На основі опрацювання і аналізу нормативної документації країн Європейського Союзу (ЄС), Польщі, яка тепер також є членом ЄС, і України були побудовані частотні залежності ГДР за електричною і магнітною компонентами ЕМП, які показані на рис. 4,5.

З рис. 4 і 5 видно, що значення ГДР, які є в НД України [6] і Польщі [7] (на тих ділянках частотного діапазону, де значення ГДР України регламентовані) є близькі між собою. У той же час порівняння польських нормативів з нормами ЄС (IRPA, ICNIRP, CENELEC) показують, що останні є ліберальнішими. Те саме стосується нормативів США (IEEE), які наведені в табл. 4 тільки в частотному діапазоні 3 кГц–300 МГц.

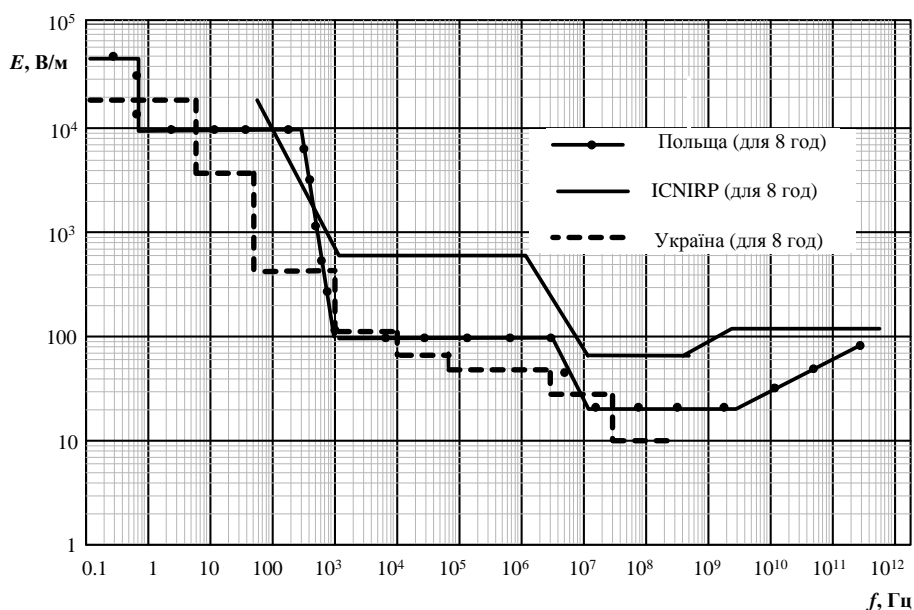


Рис. 4. Граничнодопустимі рівні за електричним полем країн ЄС і України

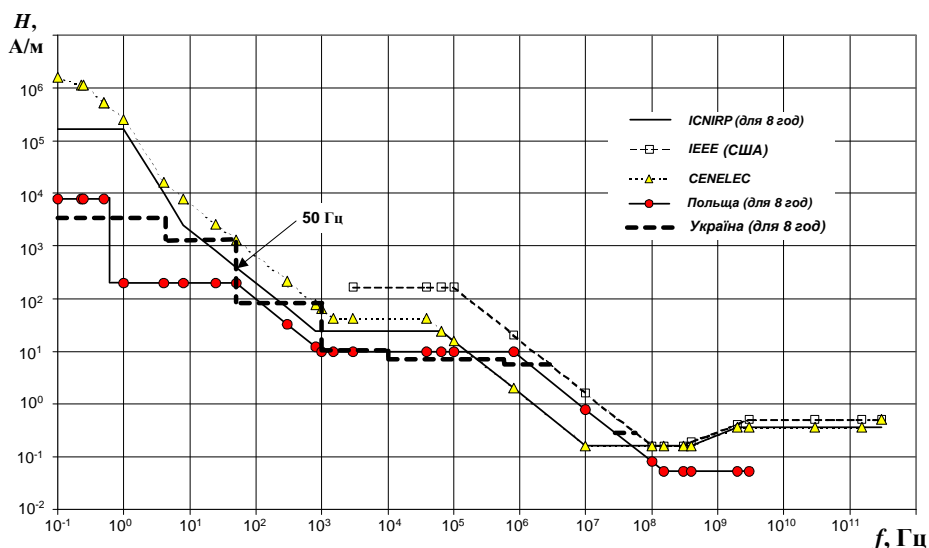


Рис. 5. Граничнодопустимі рівні за магнітним полем країн ЄС, України і США

Висновки

На наш погляд, за основу створення цілісної української НД, яка б регламентувала ГДР безпечного впливу ЕМП в усьому частотному діапазоні, можна було б прийняти сучасну НД Польщі [7]. Цей висновок підтверджується ще й тим, що НД Польщі найбільше гармонізована з відповідними стандартами Європейського союзу (рис. 4, 5).

1. Д.М.Шевель *Электромагнитная безопасность*. – К.: ВЕК+; НТИ, 2002. – 432 с.
2. Ю.Г. Григорьев, В.С. Степанов, О.А. Григорьев, А.В. Меркулов *Электромагнитная безопасность человека (справочно-информационное издание)*. Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения, 1999. – 150 с.
3. ENV 50166-1, January 1995, CENELEC, *Human exposure to electromagnetic field, low frequency (0 Hz to 10 kHz)*.
4. ENV 50166-2, January 1995, CENELEC, *Human exposure to electromagnetic field, high frequency (10 kHz to 300 GHz)*.
5. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. Затв. МОЗ України 01.08.96р., №239. –К., 1996. – 28с.
6. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів (ДСНІП 3.3.6-096-2002). Затв.МОЗ України 18.12.2002 №476 – Київ.-2002.-16с.
7. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 2 stycznia 2001r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz. U. nr 4 z dnia 23.01.2001 r. poz.36.
8. О.Н.Маслов *Электромагнитная безопасность радиоэлектронных средств*, Москва, Из-во "Связь и Бизнес".-2000.-82с.
9. E. Grudzinski, V. Nichoga, L. Sopilnyk *Problems with Interpreting Measurement Results in Electromagnetic Field Metrology Due to Differences and Changes in National Protective Regulation // Proceedings of International Carpathian Conference on EMC (ICC'02). Protection of Computer Systems against Electromagnetic Disturbances, Rzeszów-Łańcut, Poland, 19-20 September, 2002, pp. I.1-1 – I.1.6.*
10. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. *Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля*. М.: Изд-во стандартов, 1985.
11. ГОСТ 12.1.002-84 ССБТ. *Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах*. М.: Изд-во стандартов, 1985.
12. V. Nichoga, E. Grudzinski, P.Dub, B.Kizlik, L. Sopilnyk *Apparatus Aspects of Man-caused Electromagnetic Fields Metrology when Using National Normative Base // Proceedings of the VIIth International Conference CADSM'2003, Lviv-Slavsko, 18-22 February 2003, P. 145-148.*
13. H. Trzaska *Ochrona środowiska elektromagnetycznego // Krajowe sympozjum telekomunikacji'1998 (KST'98), 9-11 września 1998, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Polska, ss. 195-197.*
14. <http://www.pole.com.ru/newsn.htm>.