

Розвиток, бойове застосування та озброєння радіотехнічних військ

УДК 621.396.96

DOI: 10.30748/nitps.2020.38.12

В.Й. Климченко¹, О.В. Бєлавін², В.О. Тютюнник¹, К.А. Тах'ян¹

¹ Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

² Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕФЕКТИВНОГО ЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ОГЛЯДОВИХ РЛС

Проаналізовані особливості радіолокаційних засобів, що перебувають на озброєнні РТВ, як джерел електромагнітного випромінювання. Показано, що радіолокаційні засоби з регулярним оглядом простору характеризуються ефективним значенням потужності, що діє на навколишні об'єкти, яке є еквівалентом потужності, створеної ненаправленим джерелом неперервного електромагнітного випромінювання. Розроблена методика визначення ефективного значення потужності, що діє на об'єкти, які перебувають в зоні дії радіолокаційних засобів різного призначення.

Ключові слова: джерело електромагнітного випромінювання, електромагнітна безпека, оглядові радіолокаційні станції, санітарні правила і норми.

Вступ

Постановка проблеми. В керівних документах, які визначають санітарні правила та норми [1–2] щодо електромагнітного випромінювання вказується, що для радіолокаційних станцій (РЛС) кругового огляду виміряні при зупиненій антені рівні потоку потужності електромагнітного поля на осьовій лінії головного променя необхідно зменшити в залежності від діапазону в 6...10 разів і прийняти отримане значення як еквівалент потоку потужності неперервного опромінювання, створюваного ненаправленим джерелом випромінювання, розташованим в точці стояння РЛС. Ці рекомендації стосуються таких типів РЛС як метеорологічні РЛС, оглядові РЛС цивільної авіації та берегові РЛС. Тобто коефіцієнт усереднення інтенсивності електромагнітного випромінювання (ЕМВ) цими типами РЛС приймається рівним 6...10. Методики, за якими отримані означені коефіцієнти, не наводяться. Проте навіть попередні підрахунки доводять, що для оглядових РЛС виявлення повітряних, наземних та надводних об'єктів при ширині діаграм направленості (ДНА) в горизонтальній площині $1^\circ \dots 10^\circ$ значення коефіцієнтів усереднення значно занижені. Крім того, в означених документах вимоги до таких специфічних засобів радіолокації, якими є РЛС, що перебувають на озброєнні радіотехнічних військ (РТВ), взагалі не висуваються. У зв'язку з цим виникає необхідність в розробці методики, за якою можна було б провести розрахунки ефективного значення потужності електромагнітного випромінювання існуючими і перспективними засобами радіолокації, які є на озброєнні РТВ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В існуючих керівних документах [1–2] відсутнє пряме пояснення, за яких умов визначено гранично допустимі рівні електромагнітних полів, що створюються радіолокаційними засобами з імпульсним випромінюванням. Ці умови можна визначити лише опосередковано. В [3–6] вказано, що гранично допустимі рівні напруженості електричного поля (електричної складової ЕМП) визначаються середньоквадратичним (ефективним) значенням, а гранично допустимі рівні густини потоку потужності визначаються як середні значення за час роботи джерела випромінювання. Отже, для оглядових РЛС, які працюють в імпульсному режимі, усереднення має здійснюватися не тільки за період повторення зондувальних імпульсів, через використання середньої потужності передавача, а й за період огляду простору з урахуванням направлених властивостей антени (ширини променя в горизонтальній площині, коефіцієнта підсилення антени та рівня бічних пелюсток ДНА).

Метою цієї статті є розробка методики розрахунку ефективного значення потужності електромагнітного випромінювання оглядових РЛС та радіолокаційних висотомірів, яке є еквівалентним значенню потужності неперервного електромагнітного випромінювання ненаправленим джерелом, розташованим в точці стояння радіолокатора.

Виклад основного матеріалу

1. Характеристика ОВТ РТВ як джерел електромагнітного випромінювання.

Радіолокаційні засоби, що перебувають на озброєнні РТВ [7], мають характерні особливості,

які відрізняють їх від інших типів випромінюючих пристроїв технічного та побутового призначення.

По-перше, РЛС РТВ є потужними джерелами електромагнітного випромінювання в метровому, дециметровому і сантиметровому діапазонах хвиль. Усі РЛС працюють виключно в імпульсному режимі. Величина імпульсної потужності залежить від принципів побудови РЛС, типу зондувальних сигналів та типу генераторних приладів, які були доступними на час розробки РЛС. Для РЛС старого парку, в яких переважно використовувались вакуумні генераторні та підсилювальні прилади, характерним є високе значення імпульсної потужності від кількох сотень кіловат до кількох мегават. В сучасних РЛС, в яких використовуються твердотільні передавачі і складномодульовані зондувальні сигнали, рівень імпульсної потужності знижений в сотні раз і не перевищує кількох десятків кіловат. Але це не означає, що вплив електромагнітного випромінювання сучасних РЛС в сотні разів менше, ніж в РЛС старого парку, оскільки дія ЕМП на живі організми визначається середньою потужністю, діапазон значень якої і для РЛС старого парку і для РЛС нового парку приблизно однаковий і становить сотні ват – одиниці кіловат. Отже, основною енергетичною характеристикою РЛС РТВ, як джерел електромагнітного випромінювання, є середня потужність генерованих їхніми передавальними пристроями електромагнітних коливань, яка знаходиться в межах від кількох сотень ват до кількох кіловат.

По-друге, вплив джерела електромагнітного випромінювання на навколишнє середовище визначається не тільки його потужністю, а й ступенем концентрації випромінювання в тому чи іншому напрямку, тобто спрямованістю його випромінювання. Оскільки усі оглядові РЛС і радіолокаційні висотоміри за принципом своєї дії повинні формувати просторово вузькі промені, то невід'ємною складовою їхньої конструкції є гостронаправлені антени, які можуть мати в залежності від призначення РЛС, розмірів антени та діапазону коефіцієнт підсилення від кількох сотень до кількох десятків тисяч. Отже, наявність в РЛС гостронаправлених антенних пристроїв в сотні а то і в тисячі разів посилює потужність випромінювання в тілесному куті головного променя характеристики направленості антени.

По-третє, для РЛС РТВ характерною ознакою є періодичність огляду простору. Це означає, що опромінювання об'єктів, що перебувають під кутом місця ε відносно фазового центра антени, потужним потоком здійснюється не постійно, а тільки тоді, коли вони перебувають в зоні дії головного променя. Решту часу об'єкти навколо РЛС перебувають під впливом бічного випромінювання, потужність якого визначається рівнем бічних пелюсток діаграми направленості антени. Тобто об'єкти навколо РЛС перебувають під впливом змінної у часі потужності $P(\varepsilon, t)$.

2. Методика розрахунку ефективного значення потужності ЕМВ радіолокаторами кругового огляду.

Ефективне значення потужності, що діє на об'єкти, які перебувають під кутом місця ε , можна визначити через усереднення потужності за період обертання антени T_o :

$$P_{ef}(\varepsilon) = \frac{1}{T_o} \int_0^{T_o} P(\varepsilon, t) dt. \quad (1)$$

В оглядових РЛС РТВ огляд простору здійснюється з постійною швидкістю, і тому поточний час t і поточний азимут антени β пов'язані лінійним співвідношенням:

$$t = \frac{\beta \cdot T_o}{360}. \quad (2)$$

Провівши, заміну змінних у виразі (1), перейдемо від усереднення у часі до усереднення у просторі:

$$P_{ef}(\varepsilon) = \frac{1}{T_o} \cdot \int_0^{360} P(\varepsilon, \beta) d\beta \cdot \frac{T_o}{360} = \frac{1}{360} \cdot \int_0^{360} P(\varepsilon, \beta) d\beta. \quad (3)$$

З виразу (3) випливає, що ефективне значення потужності електромагнітного випромінювання оглядової РЛС не залежить від періоду огляду простору, і тому швидкість обертання антени значення не має. Зміна випромінюваної в залежності від напрямку потужності $P(\varepsilon, \beta)$ пов'язана з основними параметрами передавального та антенного пристроїв таким чином:

$$P(\varepsilon, \beta) = P_{сep} \cdot 10^{\frac{L_{вmp}}{10}} G \cdot F^2(\varepsilon, \beta), \quad (4)$$

де $P_{сep}$ – середня потужність передавача; $L_{вmp}$ – втрати у фідерному тракті, дБ; G – коефіцієнт підсилення антени в разях; $F(\varepsilon, \beta)$ – нормована ДНА.

З урахуванням (4) можна знайти залежність ефективного значення потужності електромагнітного випромінювання оглядової РЛС від основних параметрів передавального та антенного пристроїв:

$$P_{ef}(\varepsilon) = \frac{P_{сep} \cdot 10^{\frac{L_{вmp}}{10}} G}{360} \cdot \int_0^{360} F^2(\varepsilon, \beta) d\beta. \quad (5)$$

Отже, для обчислення $P_{ef}(\varepsilon)$ необхідно мати повну інформацію про просторову ДНА $F(\varepsilon, \beta)$ в аналітичній чи табличній формах. Така інформація в жодному з формулярів на РЛС не наводиться, а наводяться у кращому разі форми ДНА в головних перерізах $F(0, \beta) = F(\beta)$ і $F(\varepsilon, 0) = F(\varepsilon)$, а в гіршому – лише ширина ДНА в горизонтальній та вертикальній площинах та рівень бічних пелюсток. Тому для спрощення процедури розрахунку $P_{ef}(\varepsilon)$ доцільно здійснити окремо інтегрування в області голо-

вного променя і в області бічних пелюсток, і тоді вираз (5) набуде вигляду:

$$P_{ef}(\epsilon) = \frac{P_{cep} \cdot 10^{10} \cdot G \cdot \int_{-\Delta\beta}^{\Delta\beta} F^2(\epsilon, \beta) d\beta}{360} + \frac{P_{cep} \cdot 10^{10} \cdot G \cdot \int_{\Delta\beta}^{360-\Delta\beta} F^2(\epsilon, \beta) d\beta}{360}, \quad (6)$$

де $\Delta\beta$ – ширина ДНА в градусах.

Перша складова виразу (6) є усереднене за огляд значення випромінюваної потужності головним променем ДНА $P_{ГП}(\epsilon)$, а друга складова виразу (6) є усереднене за огляд значення випромінюваної потужності бічними пелюстками ДНА $P_{БП}(\epsilon)$. Для знаходження першої складової введемо два допущення, які дозволять здійснити обчислення $P_{ГП}(\epsilon)$ за відсутності повної інформації про просторову ДНА $F(\epsilon, \beta)$.

По-перше, в межах головного променя ДНА можна вважати [8], що

$$F(\epsilon, \beta) \approx F(\epsilon) \cdot F(\beta). \quad (7)$$

По-друге, у разі формування симетричної ДНА (а в оглядових РЛС ДНА в горизонтальній площині завжди симетрична) головний промінь може бути [9] апроксимований функцією типу $\sin x/x$, тобто

$$F(\beta) = \frac{\sin\left(\pi \frac{\beta}{1,12 \cdot \Delta\beta}\right)}{\pi \frac{\beta}{1,12 \cdot \Delta\beta}} \quad (8)$$

і тоді

$$P_{zn}(\epsilon) = \frac{P_{cep} \cdot 10^{10} \cdot G}{360} \cdot F^2(\epsilon) \times \int_{-\Delta\beta}^{\Delta\beta} \left[\frac{\sin\left(\pi \frac{\beta}{1,12 \cdot \Delta\beta}\right)}{\pi \frac{\beta}{1,12 \cdot \Delta\beta}} \right]^2 d\beta = \frac{P_{cep} \cdot 10^{10} \cdot G \cdot \Delta\beta}{360} F^2(\epsilon). \quad (9)$$

При визначенні другої складової виразу (6), яка є усередненим за огляд значенням випромінюваної потужності бічними пелюстками ДНА, припущення (7) не працює, але за невеликих відхилень кутомісцевого положення опромінюваних на поверхні об'єктів від максимуму ДНА, коли $\frac{\epsilon}{\Delta\epsilon} \leq 1$, що має

місце на практиці, рівень бічних пелюсток по азимуту в середньому залишається таким [10], як і в головному перерізі, тобто можна вважати що потужність

опромінювання наземних об'єктів бічними пелюстками ДНА не залежить від кута місця і тоді

$$P_{\delta n} = \frac{P_{cep} \cdot 10^{10} \cdot G \cdot \int_{\Delta\beta}^{360-\Delta\beta} F^2(\beta) d\beta}{360}. \quad (10)$$

Для визначення $P_{\delta n}$ необхідно знати середню потужність передавача P_{cep} , втрати у фідерному тракті L_{emp} , коефіцієнт підсилення антени G і нормовану ДНА $F(\beta, \epsilon)$. Якщо три перші співмножники у виразі (10) є величинами відомими і записуються у формулярі на РЛС, як її паспортні значення, то форма ДНА $F(\beta, \epsilon)$ чітко визначена і наводиться в формулярах РЛС (далеко не в усіх) лише в області головного променя та іноді ближніх бічних пелюсток. Що стосується функціональної залежності $F(\beta)$ в області дальніх бічних пелюсток і фонового випромінювання, то вона носить певною мірою випадковий характер [11], оскільки визначається не тільки розподілом поля по апертурі антени, а й багатьма випадковими чинниками, такими як характер конкретної позиції, стан погоди та ін. Тому у формулярах РЛС наводять, як правило, лише рівень ближніх бічних пелюсток та фонового випромінювання (іноді наводиться ще й рівень задніх пелюсток). Рівні наводяться в децибелах відносно максимуму головного променя ДНА.

Для визначення усередненого за огляд значення випромінюваної потужності бічними пелюстками ДНА $P_{\delta n}(\epsilon)$ доцільно користуватись саме фоновим значенням рівня випромінювання [12], прийнявши його, як постійну величину поза межами головного променя ДНА. З урахуванням сказаного, а також того факту, що ширина головного променя ДНА $\Delta\beta \ll 360^\circ$, вираз (10) набуде вигляду:

$$P_{\delta n} = P_{cep} \cdot 10^{10} \cdot G \cdot 10^{10} \frac{G_{\phi\beta}}{10}, \quad (11)$$

де $G_{\phi\beta}$ – фоновий рівень бічних пелюсток ДНА по азимуту, дБ.

З урахуванням (9; 11) отримаємо вираз для ефективного (усередненого за огляд) значення потужності електромагнітного випромінювання, що діє на розташовані навколо РЛС об'єкти:

$$P_{ef}(\epsilon) = P_{zn}(\epsilon) + P_{\delta n} = P_{cep} \cdot 10^{10} \cdot G \cdot \left[\frac{\Delta\beta}{360} \cdot F^2(\epsilon) + 10^{10} \frac{G_{\phi\beta}}{10} \right]. \quad (12)$$

При зупиненій антені на наземні об'єкти, які перебувають під кутом місця ϵ відносно електричного центра антени, випромінюється потужність:

$$P_o(\epsilon) = P_{cep} \cdot 10^{10} \cdot G \cdot F^2(\epsilon). \quad (13)$$

Порівнюючи (13) і (12), можна встановити співвідношення між потужністю, що випромінюється на об'єкти головним променем при зупиненій антені і ефективним (усередненим за огляд) значенням потужності електромагнітного випромінювання, що діє на розташовані навколо РЛС об'єкти при регулярному обертанні антени. Таке співвідношення можна розглядати, як коефіцієнт усереднення потужності ЕМП в оглядових РЛС:

$$\frac{P_o(\epsilon)}{P_{ef}(\epsilon)} = k_{yc}(\epsilon) = \frac{F^2(\epsilon)}{\left(\frac{\Delta\beta}{360} \cdot F^2(\epsilon) + 10 \frac{G_{\phi\beta}}{10} \right)}. \quad (14)$$

Для забезпечення найбільшої дальності виявлення цілей антену РЛС нахилиють так, щоб ДНА торкалась лінії горизонту приблизно на рівні половинної потужності, тобто для більшості об'єктів на поверхні землі, які зазнають опромінення, $F^2(\epsilon) \approx 0,5$, і тоді вираз (13) набуде вигляду:

$$\frac{P_o}{P_{ef}} = k_{yc} = \frac{0,5}{\left(\frac{0,5 \cdot \Delta\beta}{360} + 10 \frac{G_{\phi\beta}}{10} \right)}. \quad (15)$$

Вираз (15) можна використовувати для розрахунку коефіцієнта усереднення потужності ЕМП для оглядових РЛС. В табл. 1 наведені розраховані за формулою (15) співвідношення між потужністю електромагнітного поля, випромінюваного головним променем, і ефективним (усередненим за огляд) значенням потужності електромагнітного випромінювання, що діє на розташовані навколо РЛС об'єкти при регулярному обертанні антени.

Таблиця 1

Співвідношення між потужністю електромагнітного поля, випромінюваного головним променем, і ефективним (усередненим за огляд) значенням потужності електромагнітного випромінювання

Тип РЛС	Параметр		
	$\Delta\beta$, град	G_{ϕ} , дБ	$k_{yc} = \frac{P_o}{P_{ef}}$
1	2	3	4
80К6	1,9	-45	187
64Ж6 (5Н87)	0,8	-40	413
П-37	1	-30	209
5Н84А (44Ж6)	4,3	-23	46
П-18, Малахіт П-18МА	7	-20	25
1Л13	5,4	-23	40
19Ж6 (35Д6)	2	-40	174
П-19	4,5	-25	53
35Н6	4,5	-25	53

3. Методика розрахунку ефективного значення потужності ЕМВ радіолокаційними висотомірами.

Усереднення потужності ЕМП для рухомих радіолокаційних висотомірів (РРВ) має певні особливості, пов'язані з тим, що висотоміри, маючи ДНА у вигляді голкоподібного променя, здійснюють сканування ним і в горизонтальній, і в вертикальній площинах. Через це усереднення треба проводити також в обох площинах, тобто

$$k_{ycPB} = k_{yc\beta} \cdot k_{yc\epsilon}. \quad (16)$$

Сканування променем у вертикальній площині здійснюється регулярно із заданою частотою, а в горизонтальній переміщення променя здійснюється в залежності від цілевказання, яке надходить від РЛС або командного пункту (КП) в довільні моменти часу, тобто можна вважати, що сканування по азимуту здійснюється хаотично і промінь може бути встановлений на будь-який азимут. Це означає, що усереднення по азимуту можна здійснювати як і для оглядових РЛС, тобто за формулами (14–15), прийнявши в них $F(\epsilon) = 1$, оскільки в нижньому положенні променя його максимум завжди спрямовується на поверхню, тобто

$$k_{yc\beta} = \frac{1}{\left(\frac{\Delta\beta}{360} + 10 \frac{G_{\phi\beta}}{10} \right)}, \quad (17)$$

де $\Delta\beta$ – ширина ДНА РРВ в градусах;

$G_{\phi\beta}$ – фоновий рівень бічних пелюсток ДНА РРВ по азимуту, дБ. Усереднення потужності ЕМП у вертикальній площині визначається законом зміни кутового положення променя $\epsilon(t)$. В існуючих висотомірах використовують [13] механічні (електро- або гідро-) системи коливання антен із використанням кривошипно-шатунних механізмів. В таких системах зміна кутового положення променя $\epsilon(t)$ здійснюється (рис. 1) за синусоїдальним законом

$$\epsilon(t) = \frac{\Delta E}{2} \cdot \sin\left(2\pi \frac{t}{T_{скан}}\right) + \frac{\Delta E}{2}, \quad (18)$$

де ΔE – сектор сканування;

$T_{скан}$ – період сканування.

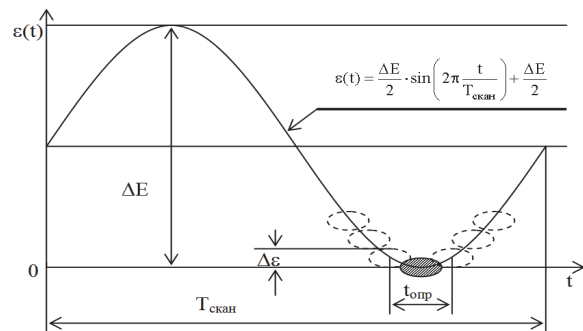


Рис. 1. Сканування головного променя діаграми направленості антени РРВ

Сектор сканування променю завжди встановлюють так, щоб в нижньому положенні променю його максимум був спрямованим паралельно підстильній поверхні, тобто відносно підстильної поверхні $\varepsilon \left(\frac{3}{4T_{скан}} \right) = 0$ (рис. 1). Це означає, що об'єкти

на поверхні землі перебувають в зоні дії головного променю в той час, коли $\varepsilon \leq \Delta\varepsilon/2$ (рис. 1), де $\Delta\varepsilon$ – ширина ДНА у вертикальній площині на рівні половинної потужності. Тривалість цього проміжку часу, як випливає з (18), становить:

$$t_{опр} = \frac{T_{скан}}{\pi} \cdot \text{acos} \left(\frac{\Delta E - 2\Delta\varepsilon}{\Delta E} \right). \quad (19)$$

Решту періоду сканування об'єкти, які розташовані на місцевості, перебувають в зоні дії бічних пелюсток ДНА у вертикальній площині.

Усереднене (ефективне) значення випромінюваної потужності за період сканування:

$$P_{эф} = P_o \left(\frac{t_{опр}}{T_{скан}} \right) + P_o \cdot 10^{-10} \frac{G_{ф\epsilon}}{10}, \quad (20)$$

де P_o – потужність, яка діє на наземні об'єкти при зупиненій в нижньому положенні антени;

$G_{ф\epsilon}$ – фон бічного випромінювання у вертикальній площині.

З урахуванням (19) отримаємо:

$$k_{ус\epsilon} = \frac{P_o}{P_{эф}} = \frac{1}{\text{acos} \left(\frac{\Delta E - 2\Delta\varepsilon}{\Delta E} \right) + 10^{-10} \frac{G_{ф\epsilon}}{10}}. \quad (21)$$

За співвідношенням (16–17) та (21) розраховані (табл. 2) значення коефіцієнтів усереднення для висотомірів, які перебувають сьогодні на озброєнні РТВ.

Таблиця 2

Коефіцієнти усереднення для визначення усередненого (ефективного) значення випромінюваної висотоміром потужності

Параметр	Тип РРВ		
	ПРВ-13	ПРВ-16	ПРВ-17
$\Delta\beta$, град	2	2,3	2
$G_{ф\beta}$, дБ	-35	-35	-45
$k_{ус\beta}$	170	149	179
ΔE , град	30	22	45
$\Delta\varepsilon$, град	0,9	0,47	0,9
$G_{ф\epsilon}$, дБ	-23	-20	-25
$k_{ус\epsilon}$	8,6	9,7	10,7
$k_{ус} = k_{ус\beta} \cdot k_{ус\epsilon}$	1462	1445	1915

Отже, наведені вище розрахунки (табл. 1, табл. 2) доводять, що коефіцієнти усереднення для кожного типу оглядових РЛС сильно відрізняються і можуть змінюватись в межах від кількох десятків до кількох сотень.

Висновки

1. Основною енергетичною характеристикою оглядових РЛС, як джерел електромагнітного випромінювання, можна вважати ефективне значення потужності електромагнітного випромінювання, яке є еквівалентним значенню потужності неперервного електромагнітного випромінювання ненаправленим джерелом, розташованим в точці стояння радіолокатора.

2. Точне обчислення ефективного значення потужності електромагнітного випромінювання оглядовою РЛС можливе за наявності повної інформації про просторову ДНА в аналітичній чи табличній формах, яка зазвичай в формулярах на РЛС не наводиться.

3. Наведена в статті методика дозволяє з прийнятними для практики точностями здійснити розрахунки ефективного значення потужності електромагнітного випромінювання оглядовими РЛС за обмеженими даними про направлені властивості антени: ширина ДНА на рівні половинної потужності, коефіцієнт підсилення та рівень фонового випромінювання.

4. Виконані у відповідності з наведеною методикою розрахунки показують, що ефективні значення потужності електромагнітного випромінювання оглядовими РЛС РТВ є в десятки і сотні разів нижчими, ніж ті рівні випромінювання, які створюють РЛС на поверхні землі впродовж осьової лінії головного променю. Для радіолокаційних висотомірів, які є на озброєнні РТВ, таке співвідношення сягає півтори тисячі.

5. Отримані значення свідчать про те, що зазначені в керівних документах дані стосовно ефективних значень потужності електромагнітного випромінювання оглядовими імпульсними РЛС значною мірою розходяться з реальними значеннями, які мають РЛС РТВ різних типів. Це означає, що документи, які визначають санітарні правила та норми щодо електромагнітного випромінювання, потребують доробки і коригування.

Список літератури

1. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітного випромінювання: наказ Міністерства охорони здоров'я України від 01.08.96 № 239 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96>.

2. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів: наказ Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 №173. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96>.
3. Про затвердження Змін до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань: наказ МОЗ від 13.03.2017 № 266. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0625-17>.
4. Попов І.І. Анализ состояния нормативной базы по обеспечению электромагнитной безопасности в Украине / И.И. Попов, О. А. Тесленко, Н. И. Тесленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. – Вип. 2(34). – С. 124-131.
5. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення: закон України від 24.02.1994 №4004-XII. Редакція від 04.10.2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12>.
6. Про затвердження Державних санітарних норм та правил при роботі з джерелами електромагнітних полів: наказ МОЗ від 18.12.2002 № 476. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>.
7. Світові тенденції розвитку радіолокаційних засобів контролю повітряного простору / О.В. Белавін, В.Й. Климченко, Г.Г. Камалтинов, О.С. Маляренко // Наука і оборона. – 2015. – № 1. – С. 48-54.
8. Barton D.K. Radar Sistem Analysis and Modeling / David K. Barton. – Boston – London: Artech House, 2005. – 547 p.
9. Воскресенский Д.И. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Д.И. Воскресенский. – М.: Радиотехника, 2012. – 744 с.
10. Инденбом М.В. Антенные решетки подвижных обзорных РЛС. Теория, расчет, конструкции / М.В. Инденбом. – М.: Радиотехника, 2015. – 416 с.
11. Шифрин Я.С. Статистическая теория антенн / Я. С. Шифрин // Справочник по антенной технике: Т. 1. – М.: Радиотехника, 1997. – 351 с.
12. Skolnik M.I. Radar Handbook. Third Edition / M. Skolnik. –The McGraw-Hill Companies, 2008. – 1352 p.
13. Довідник учасника АТО. Озброєння і військова техніка збройних сил Російської Федерації / За заг. ред. А.М. Алімпієва. – Харків: Оригінал, 2015. – 732 с.

References

1. The Order of Ministry of Health of Ukraine (1996), “*Derzhavni sanitarni normi i pravila zahistu naseleण्या vid vplivu elektromagnitnogo viprominyuvannya No. 239 vid 01.08.1996*” [State sanitary norms and governed protecting of population from influence of electromagnetic radiation No. 239 dated 01.08.1996], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96>.
2. The Order of Ministry of Health of Ukraine (1996), “*Pro zatverdzhennya Derzhavnih sanitarnih pravil planuvannya ta zabudovi naselenih punktiv No. 173 vid 19.06.1996*” [About claim of the State sanitary rules of planning and building of settlements No. 173 dated 19.06.1996], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96>.
3. The Order of Ministry of Health of Ukraine (2017), “*Pro zatverdzhennya Zmin do Derzhavnih sanitarnih norm i pravil zahistu naseleण्या vid vplivu elektromagnitnih viprominyuvan No. 266 vid 13.03.2017*” [About claim of Changes to the State sanitary norms and rules of defence of population from influence of electromagnetic radiations No. 266 dated 13.03.2017], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0625-17>.
4. Popov, I.I. (2015), “Analiz sostoyaniya normativnoj bazy po obespecheniyu elektromagnitnoj bezopasnosti v Ukraine” [Analysis of the state of normative base on providing of electromagnetic safety in Ukraine], *Control, navigation and communication systems*, No. 2(34), pp. 124-131.
5. The Law of Ukraine (2018), “*Pro zabezpechennya sanitarnogo ta epidemichnogo blagopoluchchya naseleण्या No. 4004-XII vid 24.02.1994, redakciya vid 04.10.2018*” [About providing of sanitary and epidemic prosperity of population No.4004-XII dated 24.02.1994. A release is from 04.10.2018], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12>.
6. The Order of Ministry of Health of Ukraine (2002), “*Pro zatverdzhennya Derzhavnih sanitarnih norm ta pravil pri roboti z dzhерелами elektromagnitnih poliv No. 476 vid 18.12.2002*” [About claim of the State sanitary norms and rules during work with the sources of the electromagnetic fields No. 476 dated 18.12.2002], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>.
7. Bielavin, O.V., Klymchenko, V.J., Kamaltynov, Gh.Gh. and Maljarenko, O.S. (2015), “Svitovi tendenciyi rozvitku radiolokacijnih zasobiv kontrolyu povitryanogo prostoru” [World progress of radar controls air space trends], *Science and Defensive*, No. 1, pp. 48-54.
8. Barton, D. (2005), *Radar Sistem Analysis and Modeling*, Artech House, London, 547 p.
9. Voskresenskij, D.I. (2012), “*Ustrojstva SVCh i anteny. Proektirovanie fazirovannyh antennyh reshetok*” [Devices of SVCH and aerials. Phased Array Design], Radiotekhnika, Moscow, 744 p.
10. Indenbom, M.V. (2015), “*Antennnye reshetki podviznyh obzornyh RLS. Teoriya, raschet, konstrukcii*” [Arrays of mobile survey radars. Theory, calculation, constructions], Radiotekhnika, Moscow, 416 p.
11. Shifrin, Ya.S. (1997) “Statisticheskaya teoriya antenn” [Statistical theory of aerials], *Reference book on an aerial technique*, Vol. 1, Radiotekhnika, Moscow, 351 p.
12. Skolnik, M.I. (2008), *Radar Handbook*, Third Edition, The McGraw-Hill Companies, 1352 p.
13. Alimpiyev, A.M. (2015), “*Dovidnik uchasnika ATO. Ozbroyennya i vijskova tehnik zbrojnih sil Rosijskoyi Federaciyi*” [Reference book of participant ATO. Armament and military technique of military powers of Russian Federation], Kharkiv, 732 p.

Надійшла до редколегії 27.01.2020
Схвалена до друку 12.03.2020

Відомості про авторів:**Климченко Василь Йонович**

кандидат технічних наук доцент
 провідний науковий співробітник Харківського
 національного університету Повітряних Сил
 ім. І. Кожедуба,
 Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3999-8130>

Бєлавін Олексій Вікторович

кандидат технічних наук
 головний інженер радіотехнічних військ
 Командування Повітряних Сил Збройних Сил України,
 Вінниця, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4217-2786>

Тютюнник Владислав Олександрович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник
 начальник науково-дослідної лабораторії Харківського
 національного університету Повітряних Сил
 ім. І. Кожедуба,
 Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>

Тах'ян Кристина Альбертівна

науковий співробітник
 Харківського національного університету
 Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
 Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0087-9601>

Information about the authors:**Vasyl Klimchenko**

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
 Lead Research of Ivan Kozhedub
 Kharkiv National
 Air Force University,
 Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3999-8130>

Oleksiy Bielavin

Candidate of Technical Sciences
 Chief Engineer of Radar Troops
 of Air Force Command of Armed Force of Ukraine,
 Vinnitsya, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4217-2786>

Vladyslav Tiutiunyk

Candidate of Technical Sciences
 Senior Research
 Chief of Research Laboratory of Ivan Kozhedub
 Kharkiv National Air Force University,
 Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>

Tahyan Kristina

Research Associate of Ivan Kozhedub
 Kharkiv National
 Air Force University,
 Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0087-9601>

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОГО ЗНАЧЕНИЯ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЗОРНЫХ РЛС

В.И. Климченко, А.В. Бєлавин, В.А. Тютюнник, К.А. Тахьян

Проанализированы особенности находящихся на вооружении РТВ радиолокационных средств, как источников электромагнитного излучения.

Показано, что радиолокационные средства с регулярным обзором пространства характеризуются эффективным значением действующей на окружающие объекты мощности, которое является эквивалентом мощности, создаваемой ненаправленным источником непрерывного электромагнитного излучения.

Разработана методика определения эффективного значения мощности, воздействующей на объекты, находящиеся в зоне действия радиолокационных средств различного назначения.

Ключевые слова: источник электромагнитного излучения, обзорные радиолокационные станции, санитарные правила и нормы, электромагнитная безопасность.

METHOD OF CALCULATION OF EFFECTIVE VALUE OF POWER OF ELECTROMAGNETIC RADIATION OF SURVEILLANCE RADARS

V. Klimchenko, O. Bielavin, V. Tiutiunyk, K. Tahyan

The features of radars of radar troops as sources of electromagnetic radiation are analyzed.

It is shown that radars with the regular surveillance of space are characterized by effective value power acts on surrounding objects, which is the equivalent of power generated of source of undirected continuous electromagnetic radiation. Noted, that decrease of pulse power value, which generated by modern radar with solid state transmitter and frequency(phase)-modulated signals, don't decreased its dangerous influence to human. Отмечено, что уменьшение значения импульсной мощности, излучаемой современными РЛС с транзисторными передатчиками и сложными зондирующими сигналами, не уменьшает их вредное воздействие на живые организмы. Это связано с тем, что значение средней мощности, излучаемой РЛС, не изменяется. The method of determination of effective value of power which acts on objects that situated in the coverage area of different functions radar has developed. The offered method allows with acceptable for practice accuracy to calculate of effective value of power of electromagnetic radiation of surveillance radars with limited data about the directional properties of antenna: antenna beam width at half-power level, gain factor and level of background radiation. The calculations that have been performed according to the developed method show that the effective values of power of electromagnetic radiation of surveillance radars of radar troops below, than them levels radiations on the surface of earth along the axial line of main beam in ten and hundreds of times. For radio altimeter of radar troops such ratio achieves one and a half thousand. The obtained values indicate that value of powers of electromagnetic radiation of surveillance pulse radars of radar troops, which there are in guidance document and there are in real for radars of different types are substantially different. It means that documents which determine sanitary rules and norms in relation to an electromagnetic radiation require revisions and corrections.

Keywords: electromagnetic safety, sanitary rules and norms, source of electromagnetic radiation, surveillance radars.