

В. А. Швець, к.т.н., доц.,
О. В. Швець

СПРОЩЕНА КОНЦЕПЦІЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ СИСТЕМАМ GPS, ГЛОНАСС, ГАЛІЛЕО

Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: hvan@nua.edu.ua

У роботі запропонована спрощена концепція математичного моделювання електромагнітної обстановки системам ГНСС GPS, ГЛОНАСС, ГАЛІЛЕО, яка дозволяє визначити граничну потужності джерела завад і можливий радіус області в межах якої забезпечується стійка робота приймача ГНСС GPS, ГЛОНАСС, ГАЛІЛЕО при неможливості проведення безпосередніх вимірювань перешкоди в точці розташування приймача.

Ключові слова: глобальна навігаційна супутникова система, завада, електромагнітна обстановка, GPS, ГЛОНАСС, ГАЛІЛЕО.

Вступ

На роботу глобальних супутникових навігаційних систем (ГНСС) GPS, ГЛОНАСС, ГАЛІЛЕО великий вплив мають джерела навмисних завад і як правило випромінювана потужність цього джерела завад і його місце розташування не відомі.

Однак споживач інформації ГНСС завжди знає граничне відношення завада/сигнал, при якому забезпечується стійка робота приймача ГНСС. Тоді можливо поставити і спробувати вирішити завдання визначення граничної потужності джерела перешкод і можливий радіус області в межах якої забезпечується стійка робота, тобто розробити спрощену концепцію математичного моделювання електромагнітної обстановки системам ГНСС GPS, ГЛОНАСС, ГАЛІЛЕО.

Основна частина

В діапазоні ультрависоких хвиль (300 МГц – 3 ГГц) електромагнітні поля поширюються у межах прямої видимості. Стан електромагнітної обстановки (ЕМО) на вході радіоприймального пристрою (РПП) корисного сигналу у кожному конкретному випадку за однакових умов буде відрізнятися внаслідок різного ступеню впливу земної поверхні та її забудови в аеродромній та поза аеродромній зонах на умови поширення радіохвиль. Крім того, якість ЕМО залежить від частотного рознесення Δf сигналу та завади. Якщо частоти сигналу та завади однакові, то вважають, що завада небезпечна, якщо відношення сигнал/завада на вході РПП менше за апріорі вибране значення захисного відношення із діапазону значень $Q = (10 - 14)$ дБ.

Визначимо значення потужності небезпечної завади на вході РПП, якщо її частота f не співпадає з частотою сигналу f_c .

У логарифмічних одиницях вимірювання захисне відношення дорівнює:

$$Q = P_{c.vx.RPP}(f_c) - P_{z.vx.RPP}(f_c), \quad (1)$$

де індекс “с” відноситься до параметрів корисного сигналу, а індекс “з” відноситься до параметрів завади. Тому при $f \neq f_c$ завада є небезпечною, якщо її потужність на вході першого активного каскаду РПП корисного сигналу відповідає нерівності:

$$P_{z.vx}(f) > P_{c.vx.RPP}(f_c) - Q + d(f), \quad (2)$$

де $d(f)$ – ослаблення рівня завади, яке визначається характеристикою частотної вибірності РПП на частоті f .

Права частина нерівності (2) визначає рівень завади на частоті $f \neq f_c$, який відповідає захисному співвідношенню (1) з урахуванням $d(f)$:

$$P_{z.vx.RPP}(f) = P_{c.vx.RPP}(f_c) - Q + d(f). \quad (3)$$

Тому завада є небезпечною, якщо на вході РПП рівень її потужності відповідає співвідно-

шенню (2), яке, в свою чергу, запишемо як:

$$P_{з.вх.}(f) > P_{з.вх.РПП}(f). \quad (4)$$

За відомим значенням $P_{з.вх.РПП}(f)$ (3) можна розрахувати значення потужності $P_T(f)$ віртуального випромінювача завади, розміщеного у просторі на будь-якій відстані r від РПП, враховуючи при цьому послаблення $L(f)$ на трасі поширення радіохвиль з урахуванням коефіцієнтів підсилення антени РПП $G_{РПП}(f)$ і антени РПД $G_{РПД}(f)$:

$$P_{TQ}(f) = P_{з.вх.РПП}(f) - G_{РПП}(f) - G_{РПД}(f) + L(f, r) + P_R(f) + \rho, \quad (5)$$

де

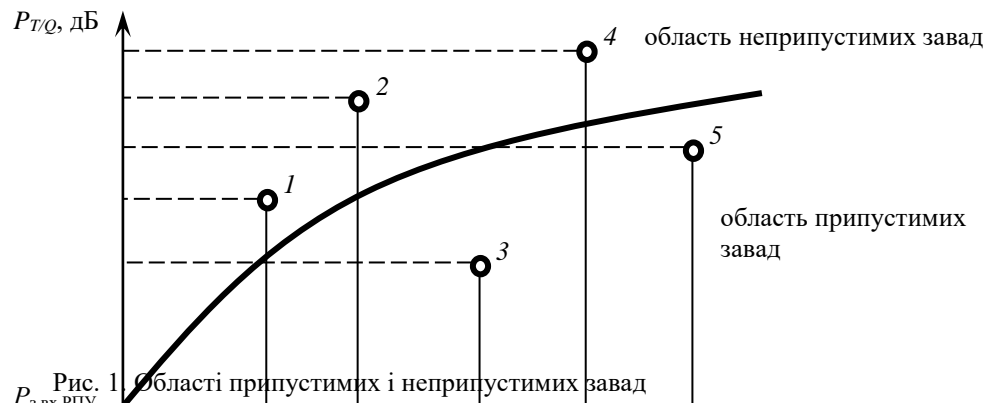
$P_R(f)$ – сприйнятливість РПП на частоті завади f ;

ρ – коефіцієнт деполаризації антен реального джерела завади і РПП;

L – функція частоти f , відстані r та висот антен РПП і РПД.

Співвідношення (5) визначає потужність завади, яка відповідає захисному відношенню Q (1).

Функціональна залежність $P_{TQ}(f)$ може бути наданою у вигляді кривої $P_{TQ}(f, r)$ (рис. 1), яка розділяє простір на області припустимих і неприпустимих завад.



На рис. 1 РПП корисного сигналу розміщений у точці початку координат. Оскільки значення множника послаблення L у межах одного частотного піддіапазону УВХ практично не залежить від частоти, то в процесі спрощеного енергетичного відбору джерел неприпустимих (небезпечних) завад їх частоти можна не враховувати. Тоді, зокрема, із розгляду рис. 1 випливає доцільність використання запропонованої в рамках цієї роботи спрощеної концепції відбору радіозавад, які погіршують ЕМО у точці розміщення антени РПП. Небезпечними завадами є завади 1,2,4, відомі джерела (фактичні або віртуальні) котрих розміщуються на відстанях r_1 , r_2 та r_4 від РПП відповідно. Умовна крива, яка зображена на рис. 2.6, визначає просторові точки, в яких теоретично можна розміщувати РПД завад GNSS, максимальна потужність випромінювання яких $P_{TQ}(f)$ (2.31) не перевершує означених на графіку.

Розрахунки $P_{TQ}(f)$ базуються на апріорі обраному значенні захисного відношення і на знанні зв'язних характеристиках корисного сигналу. Тому цю спрощену концепцію умовно можливо назвати “концепцією від зворотного”.

Використовуючи наведену вище методику розрахуємо залежність потужності завади від відстані, при фіксованому рівні завади на антені приймача ГНСС.

Виберемо припустимий рівень завади на антені приймача ГНСС.

Найбільш поширеним критерієм завадостійкості приймачів ГНСС апаратури споживачів служить максимальне відношення потужності перешкоди J до потужності сигналу S на вході приймача (або на виході ізотропної антени), при якому приймач залишається в робочому режимі [5].

Сигнал ГНСС прихований внутрішніми шумами приймача (приблизно на 20...30 дБ). Алгоритмічні засоби самого приймача ГНСС дозволяють досягати порогових значень $J/S_{пор} = 30...50$ дБ тоді, як умови дії потужних перешкод випромінювання яких заважають і змушують висувати вимоги до сучасної апаратури споживачів ГНСС в межах $J/S_{тр} \geq 80$ дБ (рис. 2).

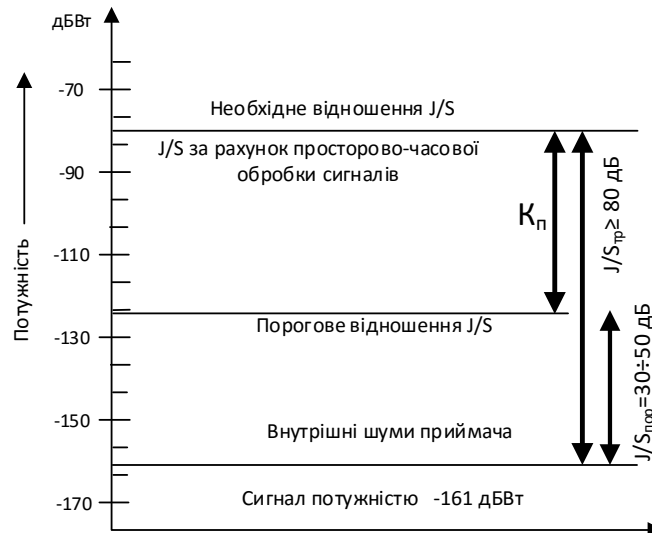


Рис. 2. Вимоги до завадостійкості сучасних приймачів ГНСС

Виходячи з рис. 2 виберемо відношення J/S на рівні 50 дБ, тобто потужність завадового сигналу на вході приймача ГНСС буде становити -111 дБ і вище порогового відношення J/S . Використовуючи вирази (1) [2], (5) отримуємо данні які наведені на рис. 3, 4 та таблиці 1.

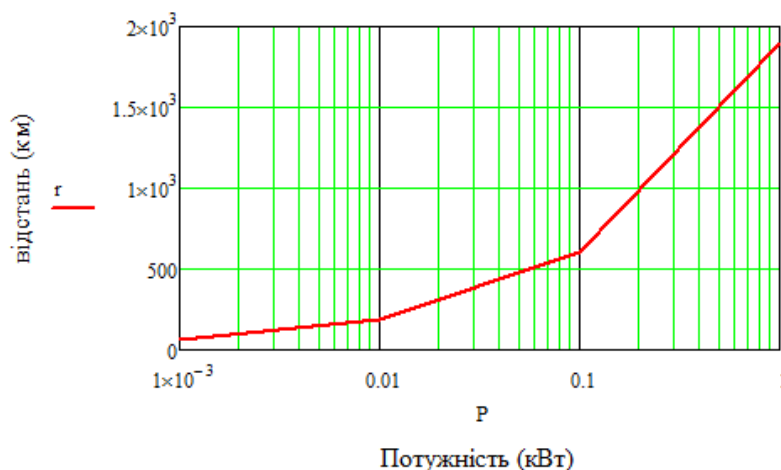


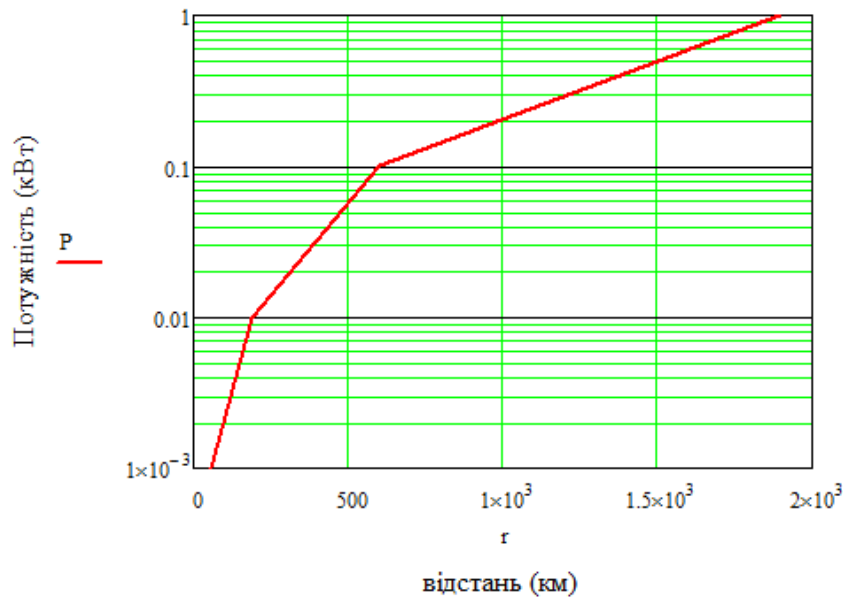
Рис. 3. Залежність відстані джерела завади від потужності при відношенні $J/S=50$ дБ

Отримані данні свідчать про те що джерело завади не великої потужності чинить значні труднощі в роботі приймача ГНСС на досить прийнятних відстанях, також вони не суперечать даним наведеним в табл. 1 [4].

Висновки

Для відомого граничного відношення завада/сигнал РПП ГНСС GPS, ГЛОНАСС, ГАЛИЛЕО запропонована спрощена концепція математичного моделювання електромагнітної обстановки системам ГНСС GPS, ГЛОНАСС, ГАЛИЛЕО. Отримані за допомогою математичного моделювання дані не суперечать, а підтверджують інформацію, яка наведена у відкритих літературних джерелах і отримана експериментальним шляхом [3–5, 7].

Запропонована концепція може застосувати на багатовимірному просторі випромінювань незалежних джерел завад.

Рис. 4. Залежність потужності джерела завади від відстані при відношенні $J/S=50$ дБ

Залежність відстані джерела завади від потужності

Таблиця 1

Потужність (кВт)	Відстань (км)
10 ⁻³	59,9
10 ⁻²	189,429
10 ⁻¹	599,026
1	1894

Список використаної літератури

1. Швець В. А. Підходи щодо дослідження електромагнітної сумісності глобальних навігаційних супутникових систем в зоні аеропорту [Текст] / В. А. Швець, О. В. Швець // Вісник інженерної академії України . – 2015. № 4. – С.61-64.
2. Швець В. А. Способи оцінки енергетики електричного поля групи випромінювачів в зоні аеропорту які створюють завади глобальним навігаційним супутниковим системам [Текст] / В. А. Швець, О. В. Швець // Вісник інженерної академії України . – 2016. № 1. – С.45-48.
3. Быстраков С. Г. Особенности испытаний антенных компенсаторов помех помехоустойчивой навигационной аппаратуры потребителей ГЛОНАСС/GPS [Текст] / С. Г. Быстраков, В. Н. Харисов // Новости навигации 2010, №3. – С. 14-19.
4. Коротоношко А. Н. Имитационные радиотехнические помехи системам спутниковой навигации [Текст] / А. Н. Коротоношко, Ю. М. Перунов // Новости навигации 2007, №4. – С. 35-39.
5. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / под ред. Т. К. Тузова. // Радио и связь. – Москва, 1985. – С. 264.
6. Иванов В. А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / В. А. Иванов, Л. Я. Ильинский, М. И. Фузик. // Техника. – Київ, 1983. – С. 120.
7. Бородич С. В. ЭМС наземных и космических радиослужб. Критерии, условия и расчет / С. В. Бородич // Радио и связь. – Москва, 1990. – С. 272.
8. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем / под ред. Н. М. Царькова. // Радио и связь. – Москва, 1985. – С. 272.