

УДК 621.396

В.О. Гуменюк¹, К.С. Козелкова¹, О.А. Моргун², С.Д. Ставицький¹

¹Національна академія оборони України, Київ

²Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, Київ

**ПРОСТОРОВЕ РОЗДІЛЕННЯ ЗОН РОБОТИ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
УПРАВЛІННЯ КОСМІЧНИМИ АПАРАТАМИ ВІД ЗОН ДІЙ
РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ, ЩО ЗАВАЖАЮТЬ**

Пропонується метод забезпечення електромагнітної сумісності радіотехнічних систем управління космічними апаратами. Проводиться теоретичне його обґрунтування.

електромагнітна сумісність, радіоелектронні засоби, космічні системи

Вступ

Задача забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних засобів (РЕЗ) є

нагальним питанням сьогодення. Це пов'язано з стрімким розвитком кількості РЕЗ та вимог до якості їх функціонування.

Крім того дана задача актуальна для існуючих радіотехнічних систем (РТС) зі складу космічних систем (КС) різного призначення. Робота зазначених РТС в складній електромагнітній обстановці (ЕМО) призводить, в ряді випадків, до порушення зв'язку, зриву сеансів управління космічними апаратами (КА), або до появи помилок в навігаційних даних, що може призвести до негативних наслідків.

При наявній інфраструктурі КС різного призначення особливо гостро стає питання забезпечення ЕМС наявних РТС у складній ЕМО, тобто забезпечення ЕМС на етапі функціонування.

На сьогодні в Національному центрі управління та випробувань космічних засобів Національного космічного агентства України існує проблема безперешкодного проведення сеансів зв'язку з космічними апаратами внаслідок несприятливої ЕМО.

Аналіз літератури [1 – 3] показав, що теорія ЕМС спрямована лише на формування організаційних вказівок для введення РЕЗ в ЕМО на основі визначення координатних відстаней, а також на виявлення джерел завад і усунення або зменшення окремих конструктивних недоліків РЕЗ, що суттєво не впливає на вирішення задачі.

Мета статті – розробити метод забезпечення ЕМС для існуючої інфраструктури РТС управління космічними апаратами в складній ЕМО.

Основна частина

Особливість умов розповсюдження завади у просторі та з врахуванням властивостей середовища розповсюдження, параметрів антен, відстаней між джерелом завади і рецептором, взаємної орієнтації антен, поляризацію випромінювання представляє можливість зниження взаємного впливу РЕЗ. Сутність методу, що реалізує дану можливість, полягає в штучному створенні захисного поля (укриття) різної природи в місцях розташування РТС і таким чином здійснити просторове розділення зон роботи РТС управління КА від зон дій РЕЗ, що заважають. У відповідності із зазначеним методом передбачається зменшити рівень завад шляхом їх поглинання, погашення, відбивання, розсіювання, або іншим чином, за рахунок роботи захисного поля (укриття).

Пропонується захисне поле (укриття) створити за допомогою захисного екрану (рис. 1). У відповідності з рис. 1 інформація, що формується (потребується) в радіотехнічній системі 1 передається (приймається) його антенно-фідерним пристроєм 2 у вигляді електромагні-

тних коливань. Максимум діаграми спрямованості антенно-фідерного пристрою 2 направлений вздовж лінії центру отвору захисного екрану 5 - взаємодіючий радіоелектронний засіб. Прийняття (випромінювання) електромагнітних коливань антенно-фідерним пристроєм та іншими елементами радіотехнічної системи поза головної пелюстки діаграми спрямованості перешкоджається захисним екраном 5. Поворотна платформа 3 забезпечує поворот захисного екрану 5. Синхронізатор 4 синхронізує поворот антени радіоелектронного засобу і захисного екрану для постійного направлення максимуму діаграми спрямованості антени радіотехнічної системи на центр отвору. Система заземлення 6 забезпечує збереження захисним екраном 5 та поворотною платформою 3 “нульового” по відношенню до землі потенціалу.

Можливість реалізації запропонованого методу буде залежати від спроможності захисного екрану забезпечити необхідне затухання завади та можливість одночасного функціонування РТС з необхідною якістю в умовах екранування. Проаналізуємо цю можливість.

Принцип роботи захисного екрану полягає в тому, що поле, яке створює перешкода, наводить в захисному укритті струми, які в свою чергу створюють додаткові поля, що намагаються нейтралізувати першочергове поле у визначених частинах простору (рис. 2). Тоді створене екраном зменшення напруженості магнітного і (або) електричного поля буде складати його ефективність. Загальна ефективність замкнутого електричного герметичного екрану визначається наступною формулою [5]

$$E_0 = E_{\text{відб}} E_{\text{погл}} E_{\text{вн.відб}}, \quad (1)$$

де $E_{\text{відб}}$ – послаблення енергії хвилі, що падає, за рахунок відбиття на межі середовищ; $E_{\text{погл}}$ – по-

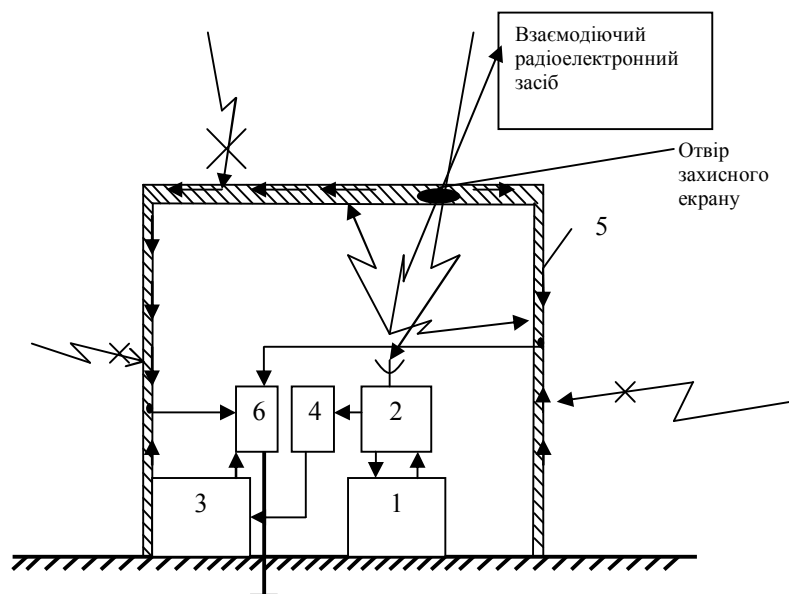


Рис. 1. Схема захисного поля

слаблення енергії хвилі, що падає, за рахунок затухання в товщі екрану; $E_{\text{вн.відб}}$ – послаблення енергії хвилі, що падає, за рахунок внутрішнього відбиття в самому екрані.

У відповідності з літературою [4] найбільш загальною формулою, що характеризує ефективність електромагнітного екранування є:

$$E_{0E(H)} = \sqrt{\frac{\delta}{\rho}} Z_{E(H)} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{R_e}} e^{-\frac{2\pi d}{m}} \left(1 - \frac{\pi m}{\lambda}\right)^6; \quad (2)$$

$$R_e \approx 0,62 \sqrt[3]{V_{\text{екр}}}; \quad \delta = 0,03 \sqrt{\frac{\lambda \rho}{\mu_r}};$$

$$Z_E = \frac{Z_0 \lambda}{2R_e \pi}; \quad Z_H = Z_0 \frac{2\pi R_e}{\lambda};$$

де $V_{\text{екр}}$ – внутрішній об'єм екрану, м^3 ; $E_{0E(H)}$ – середня ефективність екранування; δ – глибина проникнення хвилі, м ; ρ – питомий опір матеріалу екрана, $\text{Ом}\cdot\text{м}$; $Z_{E(H)}$ – хвильовий опір електричного (магнітного) поля, Ом ; λ – довжина хвилі, що падає, м ; R_e – еквівалентний радіус екрана, м ; d – товщина матеріалу екрана, м ; m – найбільший розмір щілини (отвору), м ; μ_r – відносна магнітна проникливість матеріалу екрана.

Формула (2) забезпечує достатню для практики точність розрахунку ефективності екранів різної конструкції. Розбіжність розрахункових та дійсних значень зумовлена, в основному, відсутністю повної електричної герметичності захисного екрану.

Досвід проектування, виготовлення, випробування та експлуатації пристроїв та систем екранування показує, що в середньому ефективність екранування апаратури та об'єктів може бути досягнута на рівні даних, що наведено в табл. 1. Ці дані приведені в децибелах та відносяться до верхньої межі частоти піддіапазону. Відсутність в табл. 1 цифрових значень для окремих пристроїв означає, що даний варіант не рекомендується або являється не реальним [4].

Як видно з табл. 1 захисні екрани спроможні забезпечити значне затухання завади.

Вибір того чи іншого матеріалу захисного екрану буде визначатися, як правило, необхідним затуханням завади, розмірами РТС та економічною доцільністю.

Оскільки РТС працює як на приймання так і на передачу корисного сигналу то в режимі передачі можливе часткове відбиття сигналу від внутрішніх стінок захисного екрану, котрий, в цьому випадку, сам по собі стане перешкодою. Мінімальне відбиття сигналу можливо забезпечити за рахунок встановлення системи заземлення, підбором матеріалу захи-

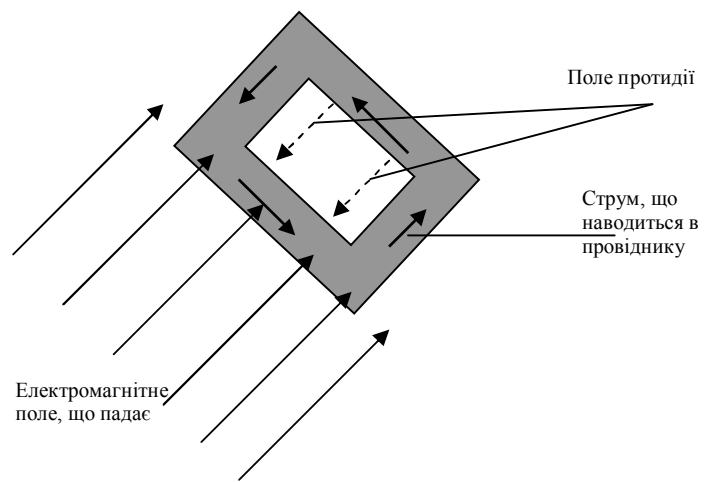


Рис. 2. Принцип роботи захисного екрану

сного екрану або ж збільшенням повного опору екрану. Необхідно відмітити й той факт, що зі збільшенням частоти сигналу його відбиття від захисного екрану зменшується а поглинання зменшується [5].

Таблиця 1
Ефективність екранування апаратури та об'єктів

Матеріал та конструкція захисного укриття	Діапазон частот, МГц				
	0,15 – 3	3 – 30	30 – 300	300 – 3000	3000 – 10000
Сталь листовая: сварка безперервним швом	100	100	100	100	100
сварка точкова, крок 50 мм	70	50	–	–	–
листки, які скріплені болтами, крок 50 мм	75	60	–	–	–
Жесть (фальцем): безперервна пайка	100	100	100	100	100
точкова пайка, крок 50 мм	100	80	60	50	40
без пайки	100	100	60	50	40
Сітка металева: пайка, чарунка 1...1,5 мм	80	60	50	40	25
Фольга: склейка внахлест (шов перекрито)	100	80	80	70	60
Струмопровідна краска ($R_i=6 \text{ Ом}$)	70	40	30	40	40
Металізація: витрати металу $0,3 \text{ кг/м}^2$	100	80	60	50	40

Розмір отвору в захисному екрані можливо визначити за допомогою зон Френеля, На рис. 3 зображено: антенно-фідерний пристрій – пункт А, захисний екран – S, взаємодіючий радіоелектронний засіб – пункт В, R_n – розмір n-ої зони Френеля.

Амплітуда поля E_n в точці В при збільшенні номера зони представлена на рис. 4 [6].

Як видно з рис. 4, результуюче поле в точці В в основному створюється вторинними джерелами, які знаходяться в межах декількох перших зон Френеля.

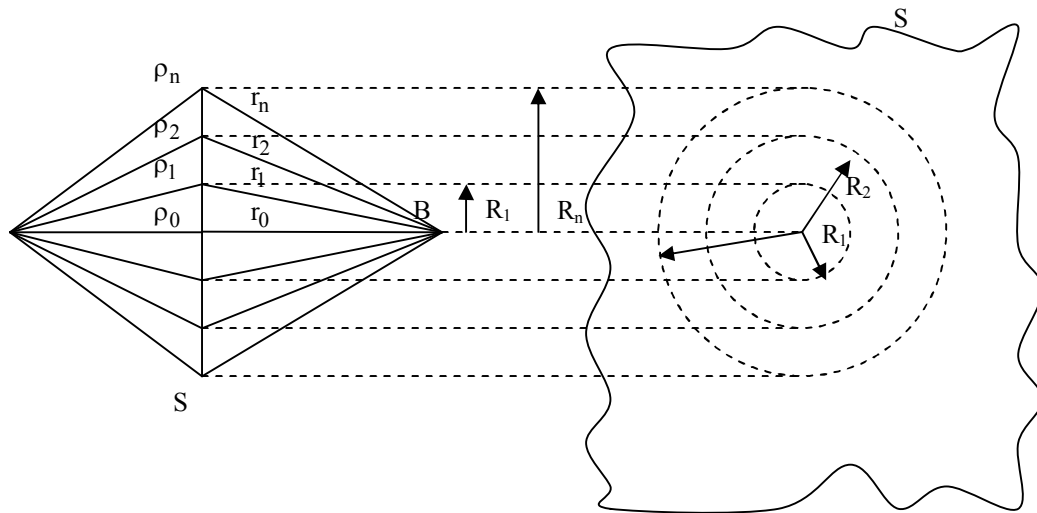


Рис. 3. Визначення розміру отвору в захисному екрані

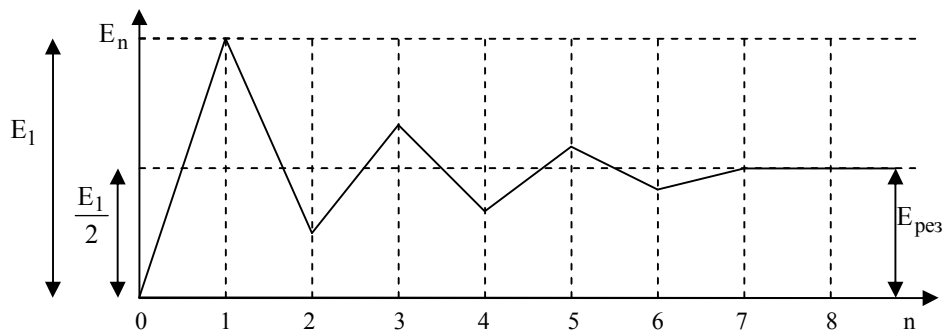


Рис. 4. Амплітуда поля E_n в точці В

Розмір n -ої зони Френеля можливо визначити такою формулою [6]:

$$R_n = \sqrt{\frac{n\lambda\rho_0r_0}{\rho_0 + r_0}}, \quad (3)$$

де n – номер зони Френеля; ρ_0 – дальність від антенно-фідерного пристрою до захисного екрану; r_0 – дальність від захисного екрану до взаємодіючого радіоелектронного засобу.

Відомо, що основна величина енергії розповсюджується із пункту А в пункт В не вздовж променя і не в нескінченному просторі, а в межах певного об'єму, який має форму еліпсоїда обертання, обмеженого декількома просторовими зонами Френеля ($n = 6 \dots 8$). Цей об'єм і являє собою область простору істотну для розповсюдження радіохвиль [6].

Іноді область, істотну для розповсюдження радіохвиль, обмежують тільки першою зоною Френеля.

Висновки

1. Забезпечити ЕМС для існуючої інфраструктури РТС управління космічними апаратами можливо за рахунок укриття радіотехнічної системи захисним екраном.

2. Захисний екран спроможний забезпечити затухання завади до 100 ДБ й запобігати створенню

даною РТС ненавмисних завад іншим РЕЗ.

3. Розмір отвору для прийняття (випромінення) корисного сигналу доцільно обмежити декількома просторовими зонами Френеля ($n = 6 \dots 8$).

Список літератури

1. Князев А.Д. *Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.* – М.: Радио и связь, 1984. – 336 с.
2. *Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем / В.И. Владимиров, А.Л. Докторов, Ф.В. Елизаров и др.; Под ред. Н.М. Царькова.* – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
3. Уайт Д. *Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи: Пер. с англ., вып. 3 / Под ред. А.Д.Князева.* – М.: Сов. радио, 1979. – 464 с.
4. Полонский Н.Б. *Конструирование электромагнитных экранов для радиоэлектронной аппаратуры.* – М.: Сов. радио, 1979. – 216 с.
5. Отт Г. *Методы подавления шумов и помех в электронных системах: Пер. с англ. / Под ред. М.В. Гальперина.* – М.: Мир, 1979. – 317 с.

Надійшла до редколегії 25.01.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.