

Список літератури

1. Батусов С.В. Светосигнальные установки, – М.: Энергия, 1979. – 120 с.
2. Разработка объективных критериев качества и научное обоснование принципов построения имитаторов визуальной обстановки авиационных тренажеров; Отчет о НИР / ГосНИИ ГА; А.Я. Алябьев, А.К. Янко, В.С. Новиков, В.С. Бабенко. – 1972.
3. Гаврилов В.А. Видимость в атмосфере. – Л., 1966. – 322 с.
4. Зуев В.Е., Кабанов М.В. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере (в условиях помех). – М.: Сов. радио, 1977. – 368 с.
5. Зуев В.Е. Проблемы оптики атмосферы. – Новосибирск, 1983.
6. Лившиц Г.Ш. Рассеянный свет дневного неба. – Алма-Ата: Наука, 1973.
7. Вельтмандер П.В. Машинная графика: Учеб. пособие в 3-х кн. http://ermak.cs.nstu.ru/kg_rivs/home.htm.
8. Ковалевский Е.И. Глазные болезни. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1980.
9. Басов Ю.Г. Светосигнальные устройства. – М.: Транспорт, 1993.
10. Фрид Ю.В. Электросветосигнальное оборудование аэропортов. – М.: Транспорт, 1988.
11. FAA Advisory Circular 120-40B - Airplane Simulator Qualification. 7/29/91. Change 2 - 6/9/93.
12. Онищенко Л.Ф. Светосигнальные системы посадки и их оборудование: Учеб. пособие – К.: КИИГА, 1978.
13. FAA Advisory Circular 150/5340-4C - Installation Details for Runway Centerline Touchdown Zone Lighting Systems. 5/6/75. (Consolidated reprint includes Changes 1 and 2).
14. FAA Advisory Circular 150/5340-19. Taxiway Centerline Lighting System. 11/14/68.
15. FAA Advisory Circular 150/5340-24. Runway and Taxiway Edge Lighting System. 9/3/75. (Consolidated reprint includes Changes 1).
16. ICAO Annex 14 Aerodromes. Volume I Aerodrome Design and Operations. 3rd edition, incorporating Amendment 1-3. 1999. July. 222 p. No. AN14.
17. ICAO Группа экспертов по визуальным средствам – VAP: Докл. совещ. Doc 9710. 1997.

Стаття надійшла до редакції 21.01.02.

УДК 621.391.82(024)

Г.Ф. Конахович, д-р техн. наук, проф.,
 В.О. Іванов, д-р техн. наук, проф.,
 Л.Я. Ільницький, д-р техн. наук, проф.,
 В.Є. Курушкін, асп.

ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ В ЗОНАХ ДІЇ РАДІОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПІДПРИЄМСТВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ

Розглянуто нову концепцію оцінювання якості електромагнітної обстановки в точці розміщення антени радіоприймача, застосовування зв'язку рівня завади на вході приймача з рівнем корисного сигналу при відомому захисному відношенні.

Одним з факторів, що впливають на ефективність системи обслуговування повітряного руху (ОПР) є електромагнітна обстановка (ЕМО), яка існує в точці розміщення антени радіоприймача повітряного або наземного об'єкта. Електромагнітна обстановка формується внаслідок пересічення радіопросторів сторонніх радіопередавачів у точці приймання корисного сигналу.

Радіопростір – випромінювання радіопередавача, яке характеризується займаною смугою частот, часом існування у тривимірному просторі $\{r, \theta, \varphi\}$, на границях якого рівні випромінювання не перевищують заданих.

Якщо енергія радіозавади така, що на вході радіоприймача відношення сигнал/завада більше, ніж захисне відношення, то ЕМО є сприятливою, і навпаки.

Оскільки в точці приймання сигналу одночасно існує множина радіопросторів сторонніх радіопередавачів, то виникає проблема їхнього ранжирування за критерієм небезпеки для функціонування радіоприймача. Тому необхідно розробити концепцію оцінювання якості ЕМО в умовах існування множини ненавмисних радіозавад на вході приймача.

Користуючись основними поняттями теорії множин, концептуальні засади прогнозування якості ЕМО можемо зобразити у вигляді аналітично-обчислювальних блоків, які матимуть завершений характер. Їхні результати можна використовувати також для інших цілей, наприклад, під час організації процесів технічної експлуатації.

Отже, блоки, виконання яких потребує певного часу, у послідовності мережного графіка, виглядають так.

Блок аналітичного опису джерел поля. Розглядаючи засоби радіозв'язку системи ОПР у діапазоні ультракоротких хвиль, множина T джерел полів завад розпадається на шість підмножин, тобто множина T є об'єднанням шести підмножин t_p^s при $s = \overline{1,6}$:

- підмножина передавачів радіостанції ближнього зв'язку T_1 ;
- підмножина передавачів місцевого зв'язку T_2 ;
- підмножина бортових радіостанцій у зоні аеродрому T_3 ;
- підмножина передавачів фіксованих наземних радіостанцій T_4 ;
- підмножина передавачів наземних мобільних радіостанцій T_5 ;
- підмножина передавачів незаявлених радіостанцій T_6 .

Кожний елемент t_p^s підмножини T_s такий, як

$$t_p^s \in T_s \text{ при } p \in N,$$

де p – номер передавача, визначений у будь-якому порядку; N – множина натуральних чисел ($N=1, 2, 3, \dots$).

При абстрактному описі передавач визначається параметрами p_q , які створюють множину параметрів P ($p_q \in P$ при $q \in N$).

До основних параметрів, значення яких повинні бути відомі для прогнозування електромагнітної сумісності (ЕМС), відносять:

- частоту випромінювання f_p ;
- координати джерела випромінювання r_p, θ_p, φ_p ;
- потужність джерела випромінювання P_p ;
- години функціонування джерела випромінювання (протягом доби, тижня, місяця та ін.).

Якщо виходити з того, що будь-яке ліцензоване джерело випромінювання відповідає вимогам (стандартам) щодо якості випромінювання, то цих параметрів, які характеризують передавач, достатньо.

Крім параметрів передавача, ще необхідно мати певні дані, які стосуються антен. З них найважливішими є:

- висота підвісу антени h_p ;
- для спрямованих антен необхідні діаграми спрямованості та їхня прив'язка до вибраної системи координат $F_p(\theta_p, \varphi_p)$;
- коефіцієнт підсилення антени G_p .

Якщо використовуються сферичні системи координат, то необхідно виразити зв'язок між напрямками в сферичних системах координат, прив'язаних до випромінювача і точки спостереження, тобто треба знати аналітичне перетворення множини θ_p, φ_p у множину θ_p^o, φ_p^o , яка належить до сферичної системи координат у точці спостереження. Індекс p відноситься до p -го джерела випромінювання.

Блок попереднього аналізу джерел ненавмисних завад. Оскільки в локальному просторі аеродрому теоретично виникають електромагнітні поля (ЕМП) будь-яких джерел, що знаходяться на поверхні Землі, в її атмосфері та космосі, то розгляд усіх полів практично стає неможливим. Але для практичних цілей такий розгляд ЕМП немає сенсу, тому що більшість цих полів має енергетику низького рівня і не створює завад для функціонування систем, що знаходяться в розглядуваному просторі. Тому виникає потреба попередньої оцінки рівня небезпеки полів випромінювання і вилучення з розгляду тих джерел, які не здатні створити завади функціонуванню радіоелектронному засобу (РЕЗ), що захищається і для якого здійснюється прогноз ЕМС.

Першим кроком попереднього аналізу є визначення радіогоризонту для джерел поля, антени яких знаходяться на максимальній висоті h_q . Очевидно, що відстань прямої видимості r_0 визначається як

$$r_{0\max} = 4,12(\sqrt{h_0} + \sqrt{h_q}), \quad (1)$$

де $h_q \rightarrow \max$.

З формули (1) знаходимо максимальну відстань $r_{0\max}$, яка дає можливість не брати до уваги ті джерела поля, що розташовані за межами радіогоризонту, визначеному за максимальною висотою підвісу антени. Отже, якщо відстань p -го джерела

$$r_p > r_{0\max},$$

то такі джерела поля не розглядаються.

Точніше цей крок можна визначити, якщо висоти підвісу антени h_p підрозділити на декілька інтервалів і за цими значеннями висот за формулою (1) установити межі радіогоризонтів. При цьому можна суттєво скоротити кількість розглядуваних джерел поля. Наприклад, якщо всі висоти підвісу антени розбити на три інтервали: $0 \dots h_{q1}$, $h_{q1} \dots h_{q2}$ і $h_{q2} \dots h_{q\max}$, то отримаємо три зони, межі яких у вигляді кіл охоплюють опорну точку O (рис. 1). У зоні 1 розглядаються всі джерела (всі елементи множини T), для яких:

$$0 < r_p \leq r_{0\max 1};$$

$$0 < h_p \leq h_{q\max}.$$

У зоні 2 залишаються для розгляду джерела з такими координатами антен:

$$r_{0\max} < r_p \leq r_{0\max 2};$$

$$h_{q1} < h_p \leq h_{q\max}.$$

У зоні 3 залишаються для розгляду джерела з координатами:

$$r_{0\max 2} < r_p \leq r_{0\max 3};$$

$$h_{q2} < h_p \leq h_{2\max}.$$

Як виняток з наведеного процесу відбору джерел поля, окремо розглядаються потужні джерела випромінювання, потужність яких досягає кількох і більше кіловатів і які навіть за межами радіогоризонту можуть створювати інтенсивні кола. Але такі джерела поля зустрічаються рідко, і їх мусимо розглядати більш уважно.

Другий крок попереднього відбору джерел поля, що створюють небезпечні інтенсивності полів, полягає у використанні формули для розрахунку потужності при поширенні радіохвиль:

$$E_p = \frac{\sqrt{60P_p G'_p}}{r_p} W_{op}, \quad (2)$$

де E_p – напруженість електричного поля в опорній точці; p – джерело випромінювання; P_p – живлення робочого передавача; G'_p – коефіцієнт підсилення антени p -го джерела; W_{op} – множник послаблення хвилі при поширенні її від p -го джерела до опорної точки; r_p – відстань від опорної точки до p -го джерела.

Корисний сигнал в опорній точці має напруженість поля, яка згідно з формулою (2) визначається як

$$E_0 = \frac{\sqrt{60P_0 G'_0}}{r_0} W_{00}, \quad (3)$$

де W_{00} – множник ослаблення при поширенні хвилі від РЕЗ, відносно якого вирішується проблема ЕМС, до опорної точки.

Усі індекси «0» у формулі (3) належать до величин, що відносяться до параметрів джерела корисного сигналу.

В опорній точці рівень ненавмисної завади повинен бути нижчим за рівень (3) у смузі пропускання приймача на R децибелів. Якщо завада, що заважає передачі інформації, знаходиться в n -му сусідньому каналі, то захисне відношення становитиме x_n децибелів, де $n = 1, 2, 3, \dots$. Отже, допустимий рівень завади, що зсунутий за частотою на n каналів відносно частоти корисного сигналу, у загальному випадку визначається як

$$E_s = E_0 - R + x_n, \quad (4)$$

тобто повинна задовольнятися нерівність

$$E_p \leq E_s.$$

До формули (2) входить множник послаблення, визначення якого можливе тільки при відомих характеристиках радіотраси. За винятком особливих випадків його значення менше за одиницю. Тому, якщо брати його за одиницю, отримаємо дещо завищене значення напруженості поля E_p . Переходячи до логарифмічних одиниць, формулу (2) при $W_{op} = 1$ залишаємо у вигляді:

$$E_p = 107,8 + P_p + G - r. \quad (5)$$

У формулі (5) суму відносних потужності та коефіцієнта підсилення системи в напрямі опорної точки можемо замінити еквівалентною ізотропно випромінюваною відносною потужністю P_{e1} . Очевидно, що

$$P_{e1} = P_p + G;$$

$$r = 20 \lg r.$$

Вираз (5) записується як

$$E_p = 107,8 + P_{e1} - r. \quad (6)$$

Рівняння (6) перетворимо таким чином:

$$P_{e1} = E_p + r - 107,8. \quad (7)$$

Якщо замість E_p підставити значення напруженості поля (4) в опорній точці, то отримаємо рівняння, яке пов'язує еквівалентну ізотропно випромінювану потужність P_{e1} , відстань r та зсув частоти завади F відносно основного каналу радіоприймача, в якому визначене захисне відношення згідно з виразом (4). У просторі $\{P_{e1}, r, F\}$ залежність (7) має вигляд криivolінійної поверхні (рис. 2), що ділить простір на область дозволених і таких, що створюють загрозу ЕМС, значень еквівалентної ізотропної потужності випромінювання джерел завад.

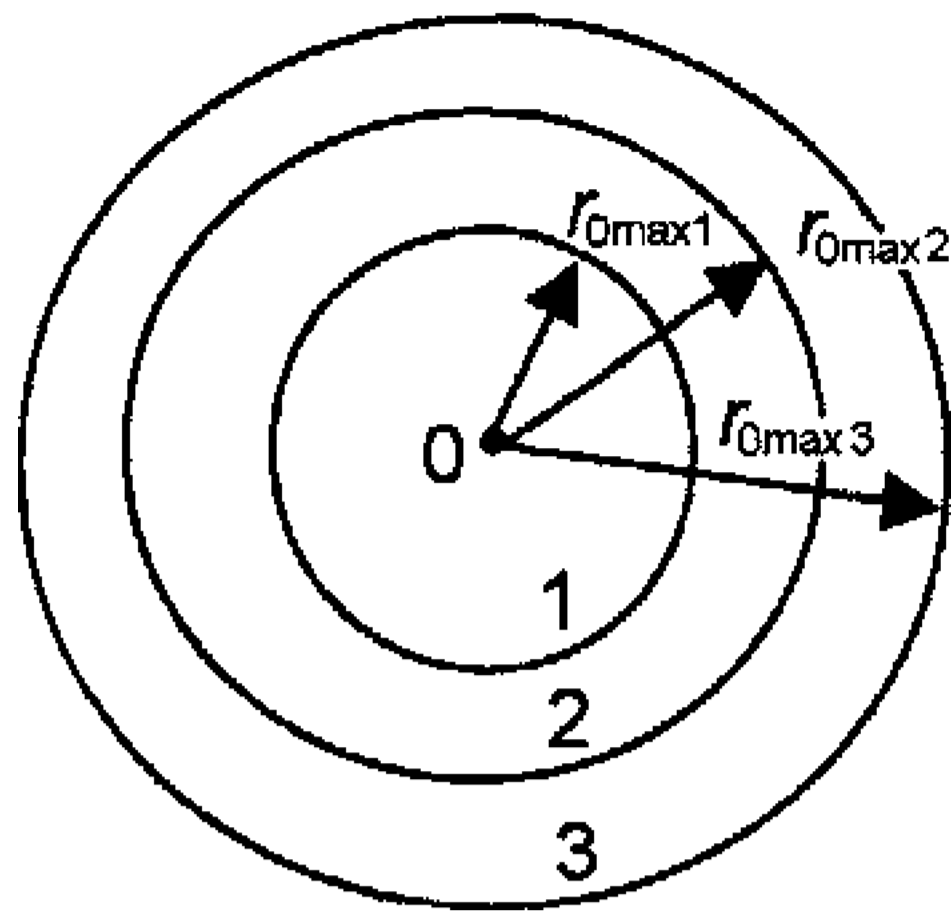


Рис. 1

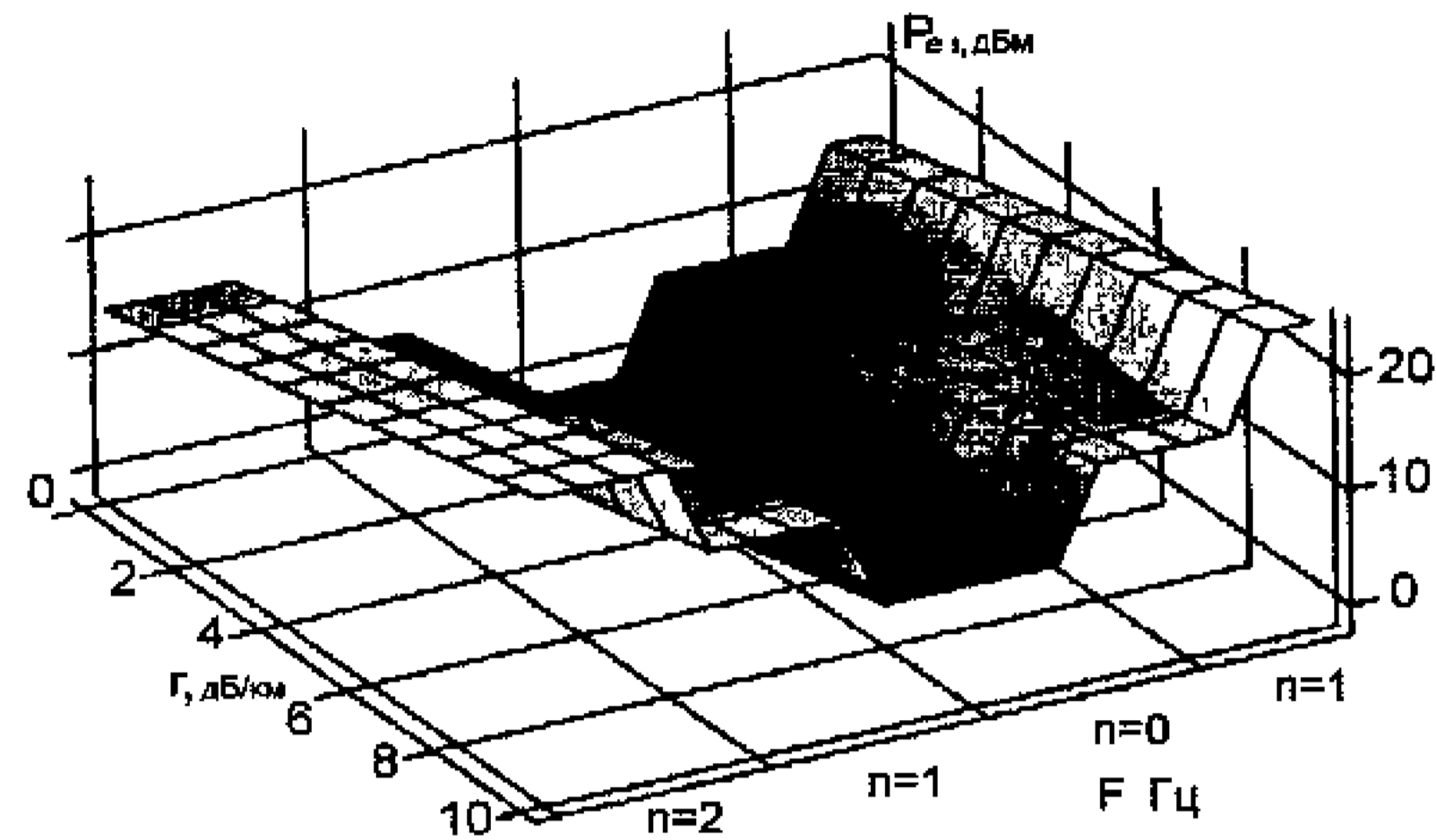


Рис. 2

Це дає можливість відобразити в просторі $\{P_{e1}, r, F\}$ точками джерела випромінювання і відібрати для подальшого аналізу тільки ті елементи, які знаходяться вище обмежувальної поверхні.

Блок визначення ЕМО. Використовуючи принципи суперпозиції, розглядаємо поле випромінювання в точці спостереження, яка може брати будь-яке положення в повітряній зоні.

Поле випромінювача в точці спостереження з урахуванням можливості спектрального розкладання сигналів являє собою множину E , елементами якої є значення e_{sp} . Отже, завдання полягає в конкретизації відображення множини T на множині E :

$$\varphi: T \rightarrow E,$$

яке розуміють як підмножину Ω декартового добутку $T \times E$, що визначається

$$\Omega = \left\{ (t_p^s, e_{sp}) \mid \exists e_{sp} (e_{sp} \in E \wedge \varphi(t_p^s) = e_{sp}) \right\}. \quad (8)$$

Конкретизація відображень φ та зображення їх у вигляді функцій, зручних для визначення елементів E , складає зміст другого блоку.

Для спрощення цієї задачі в першому наближенні розрахунок краще вести для детермінованої моделі ЕМО. У цьому випадку не враховується несталий час функціонування окремих джерел поля. Розрахунок ведеться на найгірший випадок, коли всі джерела випромінюють.

Джерела ЕМП підмножин T_3 і T_5 фіксуються в просторі в тих точках, в яких знаходження цих джерел можливе, і треба зважати на їхню наявність.

Очевидно, що вибір координат точок розташування джерел поля T_3 і T_5 визначається з принципу:

$$\varphi [t_p^s (r_p, \theta_p, \varphi_p)] \rightarrow \max \text{ при } s = 3; 5. \quad (9)$$

Відображення (9) при певних спрощеннях може бути конкретизоване за допомогою формул (2), (3):

$$\frac{\sqrt{60 P_p^s G'^s_p}}{r_p} F(\theta_p, \varphi_p) \rightarrow \max. \quad (10)$$

Оскільки значення величини під радикалом не змінюється, то вираз (10) зводиться до відображення

$$F(\theta_p, \varphi_p) / r \rightarrow \max.$$

Остання задача дещо спрощується, якщо характеристики спрямованості антен мобільних джерел поля не залежать від кутів θ та φ . Це припущення має досить велику вірогідність, тому що як бортові антени літаків, так і антени наземних мобільних радіостанцій

мають у горизонтальній площині ширину діаграми спрямованості з половинної потужності, що дозволяє при заданих розмірах повітряної зони не враховувати зміни напруженості поля при зміщенні точки спостереження за висотою. Тому відображення (9) буде виглядати:

$$\varphi [t_p^s(t_p^s)] \rightarrow \max,$$

а відображення (10) перетвориться у таке:

$$r_p \rightarrow \min.$$

Хоча відображення φ не є ін'єктивним, тобто елементи e_{ps} і e_{qs} можуть не відрізнитися, хоча t_p^s і t_q^s різні, але обернене відображення

$$\varphi^{-1}(e_{ps}^{\max}) = t_p^s \quad (11)$$

дає можливість при відомих значеннях параметрів елементів t_p^s джерел поля розрахувати небезпечні радіуси-вектори r_p (відстані до певних точок). Це і будуть ті координати мобільних РЕЗ, які можуть створити ненавмисні перешкоди.

Вплив РЕЗ підмножин T_6 може бути обчислений тільки на основі даних радіопеленгації. Дійсно, з метою прогнозування ЕМС можна обмежитися пеленгуванням джерела поля з двох положень пеленгатора. У результаті розрахунку будуть знайдені координати елемента $t_p^6 \in T_6$. Використовуючи відображення (11), можна визначити потужність випромінювача.

Отже, необхідний мінімум параметрів будь-якого джерела t_p^s з достатньою для практики точністю можна отримати за допомогою безпосереднього вимірювання частоти пеленгаторною станцією, а також розрахувати потужність випромінювання і координати місцезнаходження. Після цього розв'язується проблема впливу ідентифікованого джерела поля на ЕМО в точці спостереження як підмножина (8).

Визначення процедури відображення φ вимагає ще встановлення множини операторів W , яка описує вплив середовища поширення хвилі на ЕМО в точці спостереження. У загальному вигляді функція середовища W для кожної поляризаційної складової гармонічного коливання визначається через перехідну характеристику середовища h_{po}^s , тобто перехідну характеристику радіолінії від p -го джерела поля s -ї групи до o -ї точки спостереження. Перехідна характеристика залежить від виду поляризації хвилі. Тому вона є функцією одиничного вектора \vec{e}_0 і часу t :

$$e_{ps} = \iiint\limits_{-\infty}^{\infty} e'_{ps}(\vec{e}_o, t') h_{po}^s(\vec{e}_o - \vec{e}_o, t - t') d\vec{e}_o dt. \quad (12)$$

У формулі (12) індекси у вигляді штрихів відносяться до величин, що характеризують напруженість у точці розміщення джерела поля. Одиничний вектор \vec{e}_0 є функцією трьох координат, тому інтегрування ведеться за чотирма змінними. Хоча формула (12) принципово точно відображає вплив середовища поширення на напруженість поля в точці спостереження, її застосування вимагає досить значного обсягу вихідних даних, більшість з яких невідома. Тому застосуємо наближені методи визначення впливу середовища W як співмножника на формулу ідеальної радіопередачі.

При цьому потрібно врахувати види радіоліній, які за умов лінійності і пасивності приводяться до трьох типів:

- а) земля – земля;
- б) борт – земля або земля – борт;
- в) борт – борт.

Залежно від типу лінії отримаємо три підмножини функцій впливу середовища на поширення радіохвиль.

Блок аналізу ЕМО. Аналіз ЕМО проводиться в сукупності точок, в яких може порушуватися ЕМС для розглядуваної радіоелектронної системи. Найбільш несприятлива ЕМО створюється на межі зони дії РЕЗ, для якого прогнозується ЕМС, при умові, що РЕЗ відноситься до фіксованої радіостанції. Але для систем зв'язку з повітряними суднами, де використовуються радіолінії типу «б», необхідно розглядати також і ЕМО в місці розміщення наземної приймальної антени.

Найбільш несприятливою буде ЕМО для випадку, коли повітряне судно буде знаходитися в таких точках зони обслуговування, для яких множник впливу середовища W (або множник послаблення) у виразі (3) має мінімальне значення, а відстань між приймальною і передавальною антенами – максимальне значення. У цих випадках необхідно визначати максимальні значення напруженості завад при мінімальній напруженості корисного сигналу

$$e_{ps} \rightarrow \max \text{ при } e_{qo} \rightarrow \min,$$

де e_{qo} – напруженість поля передавача q -го повітряного судна, яке обслуговується в зоні ОНР.

Визначивши множини координат точок спостереження, необхідно еліминувати (виключати) такі елементи множини E , які не здатні створити завади у зв'язку з недостатньою енергетикою. Тому, виходячи із захисного відношення, яке являє собою мінімально допустимий рівень сигналу, віднесений до максимального рівня завади на вході рецептора, можемо виконати операцію елімінації і створити дещо меншу підмножину напруженостей поля, що характеризують ЕМО. Отже, знаходимо підмножину E_1 , яка входить до множини E :

$$E_1 \in E,$$

і елемент якої тоді і тільки тоді належить підмножині E_1 , коли відношення напруженості корисного сигналу до завади перевищує захисне відношення R , тобто

$$e_{ps}^1 = e_{ps} \in E_1 \Leftrightarrow \frac{e_o}{e_{ps}} > R;$$

$$R = \left(\frac{\text{напруженість сигналу}}{\text{напруженість завади}} \right)_{\text{допустиме}},$$

де e_o – напруженість корисного сигналу.

Наступна операція елімування елементів множини E_1 полягає в частотному відборі. Підмножина E_{12} міститься в множині E_1 , тобто $E_{12} \subset E_1$, і кожний її елемент належить підмножині E_{12} :

$$e_{ps}^{12} \in E_{12} \Leftrightarrow \{e_{ps}^1(\omega) \mid \inf \omega \leq \omega \leq \sup \omega\} \rightarrow e_{ps}^1(\omega) \in E_{12} := -e_{ps}^{12}.$$

Як видно з аналітичного запису цієї операції, необхідно встановити нижню та верхню грань частоти ω . Їхні значення залежать від властивості радіоприймачів, в основному, від амплітудно-частотних і динамічних характеристик. Отже, коли з технічних характеристик відомі значення $\inf \omega$ і $\sup \omega$, то операція відбору розбивається на дві частини. Множина елементів E_{12} розглядається як об'єднання трьох підмножин (рис. 3).

При цьому один і той же елемент може належати до двох підмножників, тобто перетин підмножин E_{12}^2 і E_{12}^3 може вміщувати певну кількість елементів $E_{12}^2 \cap E_{12}^3 \neq \emptyset$.

Підмножину E_{12}^1 , яка складається з елементів ЕМО, що мають частоти в смузі пропускання приймача, визначимо з таких міркувань. Очевидно, що елемент e_{ps}^{121} належить підмножині E_{12}^1 тоді і тільки тоді, коли елемент e_{ps}^{12} підмножини E_{12} має властивість параметра ω задовольняти нерівність

$$\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2,$$

де ω_1, ω_2 – граничні частоти каналу, призначеного для роботи приймача корисного сигналу.

Відображення елемента $e^1_{ps}(\omega)$, що належить підмножині E_{12} , відповідає за означенням елементу e^{121}_{ps} . Отже:

$$e^{121}_{ps} \in E_{12} \Leftrightarrow \{e^{12}_{ps}(\omega) | (\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2)\} \rightarrow e^1_{ps}(\omega) \in E_{12} := -e^{121}_{ps},$$

де ω_1, ω_2 – граничні частоти смуги пропускання приймача.

Якщо підмножина E_{12} не порожня, то ЕМС не забезпечена, і потрібно проводити організаційні або технічні заходи щодо покращення ЕМО.

Для визначення впливу елементів підмножини доповнення до множини E_{12} ($E_{12} \setminus E^1_{12}$) на ЕМС виконується частотний аналіз і формуються підмножини E^2_{12} та E^3_{12} .

При формуванні підмножини E^2_{12} виходять з того, що всі елементи e^{122}_{ps} належать підмножині E^2_{12} тоді і тільки тоді, коли існує хоча б один елемент e^{122}_{pq} з параметром ω_q з підмножини E_{12} , параметр якого з параметром ω_s елементу e^{122}_{ps} задовольняє умову інтерполяції третього порядку, тобто

$$\forall e^{122}_{ps} \in E^2_{12} \Leftrightarrow \{\exists e^{12}_{pq}(\omega_q) \in E_{12} : n\omega_q \pm m\omega_s = \omega \in \overline{\omega_1, \omega_2}\}, \quad n, m = 1, 2; 2, 1. \quad (13)$$

Рівняння (13) визначає можливість виникнення інтермодуляції третього порядку. Очевидно, що його можна поширити і на інтермодуляцію п'ятого порядку. Після визначення змісту підмножини E^2_{12} проводиться енергетичний аналіз:

$$\begin{aligned} \forall e^{122}_{ps}, e^{122}_{pq} \in E^2_{12} \rightarrow e_{sq} \in E^1_{12}; \\ f(E^2_{12}) \neq \emptyset \Leftrightarrow \exists e_{sq} \geq e_o + R. \end{aligned} \quad (14)$$

Для кожної пари елементів з підмножини E^2_{12} знаходять їхнє відображення в напруженості поля інтермодуляційної частоти, що вже як елемент (після відображення) належатиме підмножині E^1_{12} . Відображення підмножини E^2_{12} на підмножину E^1_{12} не буде порожнім тоді і тільки тоді, коли буде існувати хоча б один елемент відображення e_{pq} , більший за амплитудний параметр від елемента напруженості поля корисного сигналу з урахуванням захисного відношення.

Якщо виконується нерівність (14), то для забезпечення ЕМС потрібно розносити s-те і q-те джерела за частотою, відстанню або часом.

Нарешті, визначається остання множина E^3_{12} . Ця множина складається з елементів, які можуть викликати блокування приймача. Вихідними даними для останньої операції є залежність рівня сприйнятливості до блокування $b(\omega)$, де b – мінімальне значення сигналу на частоті ω , яке знаходиться за межами смуги пропускання приймача (з урахуванням зайнятої смуги частот ненавмисної завади). Ця залежність має характер, зображений на рис. 4.

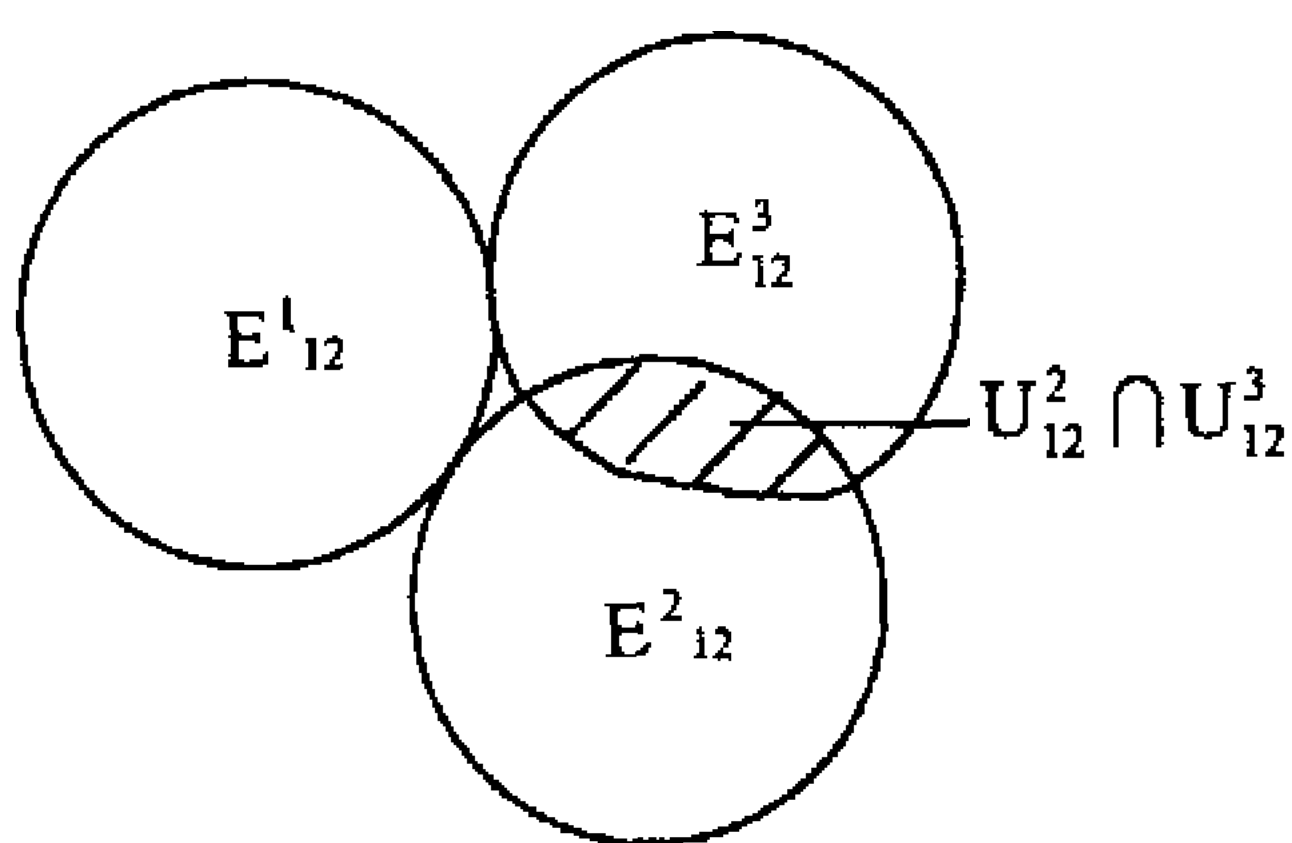


Рис. 3

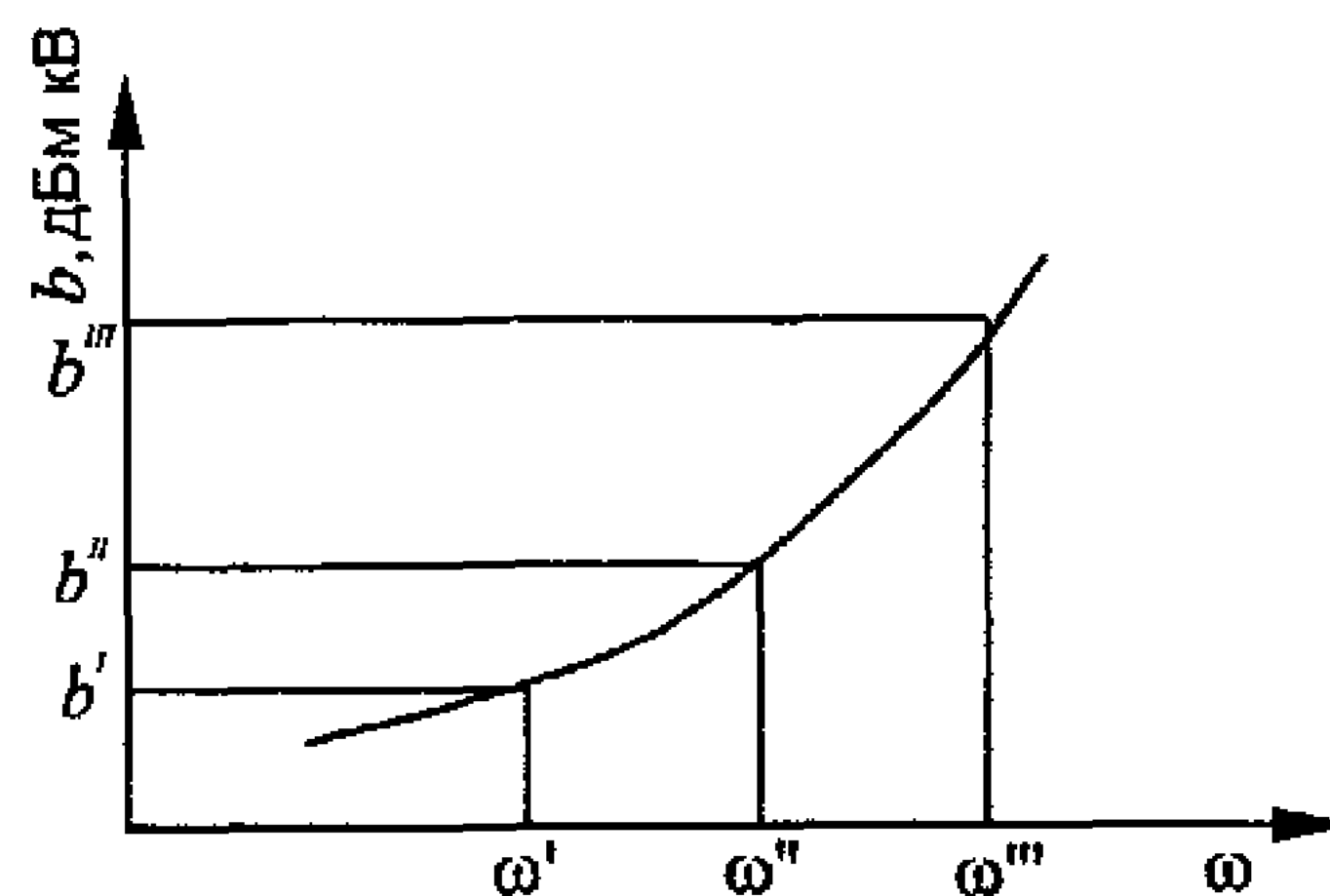


Рис. 4

Для обробки елементів множин графік дискретизуємо за частотою, наприклад, від частоти ω і до частоти $\omega^{(k)}$, яка віддалена від розглядуваної смути пропускання на інтервал частот, що становить потроєне значення ширини частотного каналу приймача. Для цих інтервалів усередненням знаходимо значення рівнів $b', b'', b''', \dots, b^{(k)}$. Після цього визначаємо належність парціальних полів e_{ps}^{123} до підмножини E_{12}^3 за умовою: елемент e_{ps}^{123} належить підмножині E_{12}^3 тоді і тільки тоді, коли елемент e_{ps}^{12} , що належить доповненню $E_{12} \setminus E_{12}^1$ до множини E_{12} і має властивість у повному частотному інтервалі від ω^k до ω^{k+1} , перевищує рівень сприйнятливості приймача корисного сигналу до блокування b_k , тобто

$$e_{ps}^{123} \in E_{12}^3 \Leftrightarrow \left\{ e_{ps}^{12} \in (E_{12} \setminus E_{12}^1) \mid e_{ps}^{12}(\omega \in \overline{\omega^k, \omega^{k+1}}) \geq b_k \right\}.$$

Якщо $E_{12}^3 \neq \emptyset$, то необхідні певні заходи для забезпечення ЕМС.

Нарешті, необхідно додати декілька конкретних зауважень до визначення впливу на ЕМО елементів підмножини T_6 . За допомогою пеленгатора або випромінювального приймача для незаявленого джерела випромінювання необхідно встановити напруженість поля в будь-якій точці спостереження. Якщо в результаті пеленгації буде встановлене місцезнаходження джерела – елемента підмножини T_6 , то не виникне труднощів в ідентифікації деяких його параметрів.

З формули (2) випливає, що для будь-якого сталого напрямку в просторі, що збігається з променем, проведеним від джерела випромінювання, добуток напруженості поля E на відстань r до джерела від точки спостереження, розташованої в зоні Фраунгофера, також стала величина A :

$$Er = A.$$

З математичного погляду це гіпербола. Для її повного описання достатньо визначити на відстані r напруженість поля E . Стала величина A для досліджуваного джерела визначається як

$$A = \sqrt{60 P_A G} F^2(\theta, \varphi),$$

де P_A – потужність живлення антени; $F(\theta, \varphi)$ – значення діаграми спрямованості антени в розглядуваному напрямі.

У сучасних методах радіомоніторингу використовують поняття еквівалентної ізотропно випромінюваної потужності $P_{e,i}$:

$$P_{e,i} = P_A G F^2(\theta, \varphi).$$

Отже, при відомих значеннях E і r тільки для однієї точки, знаходимо

$$P_{e,i} = \frac{E^2 r^2}{60},$$

або в логарифмічних одиницях:

$$P_{e,i \text{ вон}} [\text{дБм}] = 12,2 + E [\text{дБмкВ / м}] + r [\text{дБкм}].$$

Якщо знати напруженість поля і напрям на джерело випромінювання з декількох точок, то можна зробити розрахункові висновки про характер спрямованості антени.

Найбільш доцільно, визначивши місцезнаходження джерела завади, зв'язати його променем з опорними точками зони обслуговування РЕЗ, що захищається, і на цих променях вибрати точки спостереження. Тоді похибка оцінки впливу незаявленого джерела буде не більшою за похибку розрахунку поля завади відомих джерел випромінювання.

Висновок. На етапі прогнозування ЕМС можна зменшити обсяг вихідних даних за рахунок розгляду найгірших ситуацій в ЕМО. Уточнення впливу найгірших ситуацій на ефективність системи ОПР вимагає додаткових даних, таких, як імовірність створення такої ситуації або ймовірність існування її в момент часу t за період спостереження T .

Безумовно, при будь-якому підході необхідні дані про джерела випромінювань корисних сигналів, їхню зону обслуговування, характеристики приймача корисних сигналів, характеристики приймальних антен.

Для точної оцінки впливу на ЕМО незаявлених РЕЗ доцільно визначити напрями від джерела завад до опорних точок зон обслуговування і на цих променях вибрати точки для вимірювання напруженості поля завад. При значній кількості джерел випромінювання оперативний прогноз ЕМС можливий тільки при використанні потужної обчислювальної техніки.

Стаття надійшла до редакції 11.03.02.

УДК 629.735.085

В.Г. Мелкумян, канд. техн наук, доц.

ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ

Розглянуто один із підходів оцінювання ефективності системи експлуатації засобів радіотехнічного забезпечення повітряного руху з використанням техніко-економічного критерію питомих витрат експлуатації (середнього ризику), з рахуванням витрат, спрямованих на підтримку та відновлення необхідного рівня якості функціонування системи, і витрат при порушенні регулярності польотів. При виборі і впровадженні нових систем через відсутність статистичних даних, які впливають на ефективність використання у системі, запропоновано розв'язання задачі на основі експертних оцінок з використанням теорії нечітких множин.

Ефективність системи експлуатації засобів радіотехнічного забезпечення (РТЗ) повітряного руху (ПР) залежить від якості функціонування й ефективності взаємодії окремих елементів [1]. У загальному випадку припущення адитивності впливу якості функціонування окремих елементів на ефективність усієї системи оцінку останньої можна уявити у вигляді виразу:

$$E_C = \sum_{i=1}^K A_i E_i, \quad (1)$$

де E_C – прийнятий критерій оцінки ефективності системи; K – кількість елементів у системі; A_i – ваговий коефіцієнт, що визначає ступінь впливу якості функціонування i -го елемента системи на ефективність системи в цілому; E_i – оцінка ефективності i -го елемента системи.

В узагальненому вигляді вираз (1) можна подати:

$$E_C = f(z, t), \quad (2)$$

де $f(\cdot)$ – функція ефективності елементів системи; z – вектор вихідних характеристик елементів системи.

Параметризація виразів (1) і (2) на початкових етапах проектування системи експлуатації засобів РТЗ ПР пов'язана з певними труднощами аналітичного плану. Проблема імітаційного моделювання при опису складних за структурою і стохастичних за характером процесів, які діють в елементах системи, не дозволяє достатньо оцінити ступінь впливу вихідних характеристик елементів на ефективність функціонування всієї системи. Крім того, при впровадженні нових засобів РТЗ або корінній модернізації системи РТЗ оцінка економічної ефективності модернізованої системи провадиться без урахування додаткових витрат через порушення регулярності ПР з вини системи РТЗ. При цьому, як правило, обмежуються врахуванням витрат на створення (придбання) і технічну експлуатацію нових засобів РТЗ ПР.