

ЗАДАЧІ АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РАДІОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ В СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНО ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

У статті розглянуті основні завдання аналізу електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, проведений аналіз виконання умов, при яких забезпечується електромагнітна сумісність в деякій групі радіоелектронних засобів, що містить $N_{ДП}$ джерел перешкод і $N_{РП}$ рецепторів. Запропоновано аналіз, що дозволяє проводити попереднє прогнозування виконання умов електромагнітної сумісності в групі радіоелектронних засобів, які мають деяке число джерел перешкод і радіотехнічних пристроїв на які вони впливають.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, радіоелектронний засіб, безпілотний літальний апарат.

Вступ

Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) як елементів сучасного, складного, багатофункціонального інформаційно-вимірювального комплексу надзвичайно актуально. За допомогою такого комплексу набагато ефективніше і дешевше вирішуються завдання дистанційного моніторингу і контролю важкодоступних районів, в яких отримання інформації звичайними засобами, включаючи авіарозвідку, ускладнене або ж наражає на небезпеку життя людей.

Виміряна багаточисельними бортовими засобами моніторингу інформація в режимі реального часу повинна передаватися на пункт управління для обробки і ухвалення відповідних рішень.

Перераховані вимоги, що покладаються на БПЛА, неможливі без рішення ряду науково-технічних завдань спрямованих на:

- підвищення корисного навантаження БПЛА;
- розробку сучасної, легкої і надійної апаратури що використовує мікро і нано технології сприяючої підвищенню ефективності управління БПЛА, збору і передачі інформації на пункти її обробки;
- покращення функціонування БПЛА в умовах невизначеності пов'язаної з електромагнітною сумісністю (ЕМС) різних радіоелектронних засобів (РЕЗ) як зовнішніх, так і таких, що знаходяться на їх борту.

Вирішення проблеми

Як правило, перші два класи завдань вирішуються комплексно. Підвищення навантажувальної здатності БПЛА, дозволяє встановлювати на його борту додаткову сучасну апаратуру на основі мікро і нано технологій, що у свою чергу зможе розширити круг вирішуваних безпілотними літальними апаратами завдань з підвищенням ефективності їх вирішення. Рішення третього завдання пов'язано з труднощами аналізу ЕМС різних РЕЗ, причинами виникнення неумисних перешкод (НП), чинниками, що визначають поширення НП і схильність РЕЗ до їх дії.

Неумисні дії електромагнітних полів, що створюються одними технічними засобами на інші, визначаються поняттями "перешкода" і "дії перешкод". Згідно прийнятої термінології електромагнітною перешкодою називається небажана дія електромагнітної енергії, яка погіршує (чи може погіршити) якість функціонування засобів. Таким чином, неумисні дії є одним з частих і найбільш важливих видів перешкод - неумисні перешкоди.

Напрямок техніки, що займається питаннями неумисних електромагнітних дій технічних засобів, один на одного, має назву електромагнітної сумісності технічних засобів.

Електромагнітна сумісність - здатність радіоелектронних засобів і радіовипромінювальних пристроїв одночасно функціонувати з обумовленою якістю в реальних умовах експлуатації з урахуванням впливу на них ненавмисних радіозавад і не

створювати недопустимих радіозавад іншим радіоелектронним засобам і радіовипромінювальним пристроям. [1].

Метою роботи є розгляд із загальних позицій основних задач аналізу ЕМС до числа яких відносять [2, 3]:

1. Аналіз електромагнітної обстановки (ЕМО), під якою розуміється сукупність електромагнітних полів, що існують в цій області простору, які характеризуються розподілом їх інтенсивностей по частоті, часу і в просторі. Залежно від конкретного випадку може йтися про ЕМО на об'єкті (корабель, літак, приміщення і т.ін.), в конкретному місті, районі, країні і так далі.

2. Аналіз виконання ЕМС в групі засобів. До вказаної групи відносяться завдання перевірки виконання умов ЕМС в групі засобів на різних етапах життєвого циклу РЕЗ.

3. Аналіз параметрів ЕМС технічних засобів. Основний зміст завдань цієї групи складають методи і засоби отримання кількісної інформації про відповідність параметрів різних РЕЗ нормативно-технічній документації в області ЕМС.

Для вирішення другої і третьої груп завдань використовуються:

- аналітичні методи аналізу, реалізовані у вигляді пакетів програм і в основному використовуються в завданнях прогнозування ЕМС;
- методи фізичного і математичного (імітаційного) моделювання використовуються в завданнях оцінки параметрів ЕМС (рівнів допустимих перешкод);
- експериментальні методи застосовуються для визначення параметрів ЕМС, а також на завершальній стадії створення різних радіоелектронних комплексів, завершальних випробуваннях, в ході яких в числі інших показників здійснюється контроль виконання ЕМС.

Метою аналізу виконання ЕМС в групі засобів являється прогноз виконання умов, при яких забезпечується ЕМС в деякій групі засобів, що містить джерела перешкод $N_{ДП}$ і рецепторів $N_{РП}$. В основу здійснення аналізу покладене наступне. Кожен технічний засіб, що є рецептором перешкод, призначений для певних функцій і характеризується показником якості $Q_{РП}$, що відбиває їх виконання. Під дією перешкоди i -го типу (від i -го джерела перешкод) якість виконання цих функцій знижується, що можна представити як зменшення значення $Q_{РП}(P_{РП})$ (рис. 1).

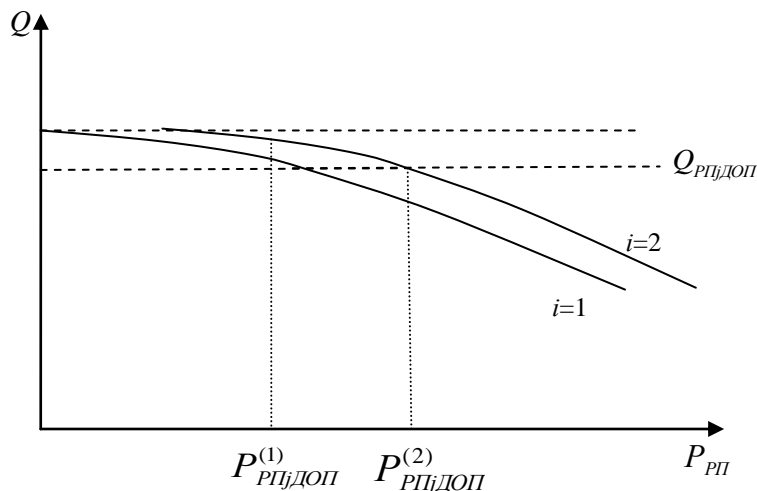


Рис.1. Зниження якості виконання функцій в деякій групі засобів під дією перешкоди від i -го джерела перешкод.

Допустимому зниженню якості $Q_{РП}$ відповідає перешкода i -го виду з рівнем не більше $P_{РПjДОП}^{(i)}$. Перешкоди, при яких не відбувається неприпустимого зниження якості функціонування i -го рецептора, називають допустимими. Зауважимо, що рівні допустимих перешкод j -му рецептору розрізняються залежно від спектрального складу і часових характеристик перешкоди i -го виду. Тому для різних видів перешкод значення $P_{РПjДОП}^{(i)}$ також різні.

Припустимо, що вказані величини для j -го рецептора відомі. В цьому випадку принцип аналізу виконання ЕМС в групі засобів полягає в знаходженні величини $P_{РПj}^{(i)}$ і порівнянні їх з допустимими значеннями. Це може бути виконано на різній основі. Розрізняють наступні способи здійснення аналізу: парну, групову і комплексну оцінки [4, 5].

При парній оцінці по черзі розглядається дія кожного з $N_{ДП}$ джерел на перший рецептор, потім на другий і так далі (рис. 2).

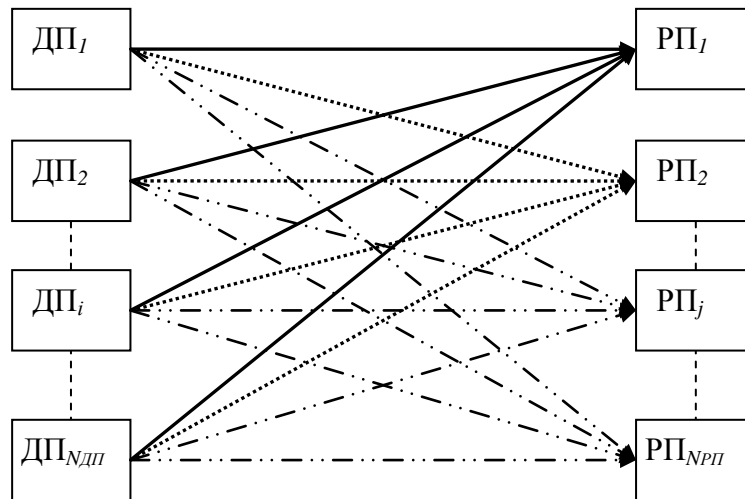


Рис.2 Схема парної оцінки

Таким чином, здійснюється почергова перевірка ЕМС кожного з джерел з кожним з рецепторів за критерієм допустимого зниження якості функціонування :

$$Q_{РПj}(P_{РПj}) \geq Q_{РПjДОП}^{(i)} \rightarrow \text{ЕМС} \quad (1)$$

$$Q_{РПj}(P_{РПj}) < Q_{РПjДОП}^{(i)} \rightarrow \text{порушення ЕМС} \quad (2)$$

або по рівню завад від i -го джерела, що діє на j -й рецептор:

$$P_{РПj}(P_{ДПi}) \leq P_{РПjДОП}^{(i)} \rightarrow \text{ЕМС } (j \leftarrow i) \quad (3)$$

$$P_{РПj}(P_{ДПi}) > P_{РПjДОП}^{(i)} \rightarrow \text{порушення ЕМС} \quad (4)$$

Парна оцінка є найбільш простою в здійсненні але, в той же час, не завжди достовірна, оскільки не дозволяє враховувати повною мірою такі явища як інтермодуляція тобто взаємодію між двома або більше частотами, що проходять через активний або пасивний

нелінійний електричний ланцюг, або через будь-який компонент, що генерує небажані частоти як, в приймачі, так і інтермодуляційне випромінювання передавачів.

Повнішою є групова оцінка, при якій розглядаються по черзі дія декількох джерел $N_{ДП} \leq N_{ДП}$ на кожний з рецепторів в групі (рис. 3).

При груповій оцінці виходять з того, що якість функціонування j -го рецептора $Q_{РПj}$ залежить від рівнів перешкод, що створюються рядом джерел :

$$Q_{РПj}^{(K)} = Q_{РП} (P_{РПК} \dots P_{РПК+N_{ДП}}) \quad (5)$$

Відповідно факт виконання або невиконання умов ЕМС перевіряється по зниженню якості кожного з $N_{РП}$ рецепторів з кожною з груп джерел :

$$Q_{РПj}^{(K)} \geq Q_{РПj,ДОП} \rightarrow \text{ЕМС}(j \leftarrow N_{ДП}); \quad (6)$$

$$Q_{РПj}^{(K)} < Q_{РПj,ДОП} \rightarrow \text{порушення ЕМС} \quad (7)$$

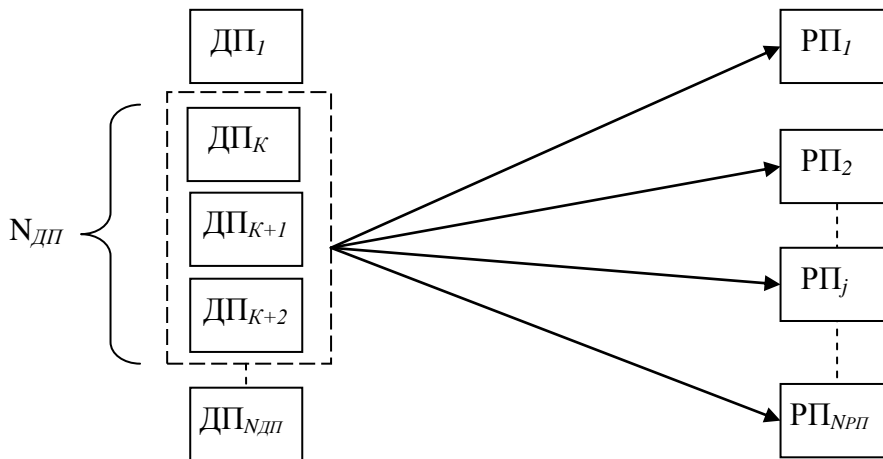


Рис.3 Схема групової оцінки

Групова оцінка дозволяє врахувати вплив всіляких ефектів, пов'язаних з позасмуговими ефектами в рецепторах і інтермодуляції в джерелах перешкод. Платою за це є підвищення трудомісткості розрахункових процедур. Незважаючи на велику міру адекватності реальності, деякі аспекти забезпечення ЕМС в групі засобів і при груповій оцінці залишаються поза увагою. В основному це стосується комплексів технічних засобів, що складаються з різних джерел і рецепторів перешкод і при цьому вирішують деяку загальну для усієї групи задачу.

Для повнішого обліку впливу різних ефектів що з'являються в приймально-передавальних і сигнальних трактах РЕЗ можлива комбінація парної і групової оцінки, проте, при цьому значно зростає розрахункова складність обчислювальних процедур.

При комплексній оцінці розглядається група засобів, що виконують різні функції, спрямовані на досягнення деякої загальної для усієї групи мети (рис. 4).

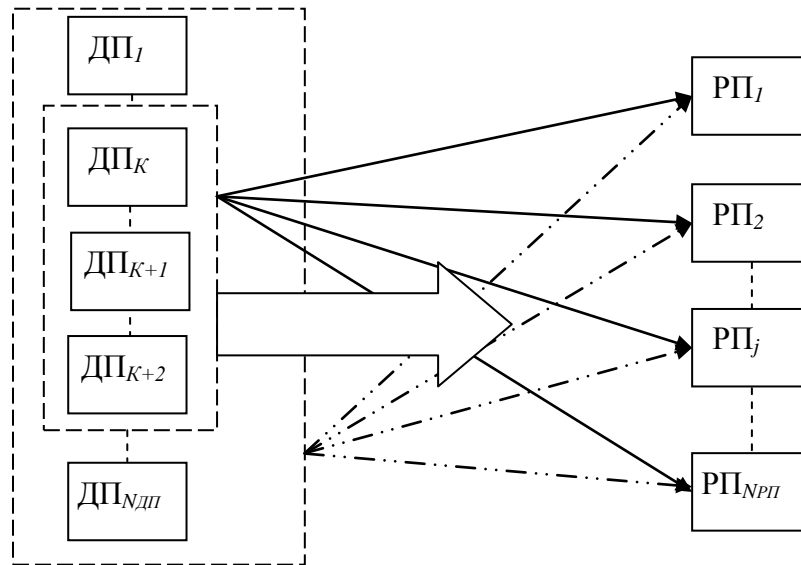


Рис.4 Схема комплексної оцінки

Розглянемо комплексну оцінку детальніше. Нехай величина Q_{Σ} характеризує якість функціонування групи рецепторів, що вирішує загальну задачу:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\Sigma}(Q_{РП1} \dots Q_{РПj} \dots Q_{РПNРП}) \quad (8)$$

причому кожен з часткових показників якості окремих рецепторів залежить від рівнів перешкод, що діють з боку групи джерел (аналогічно груповій оцінці).

Виконання або невиконання ЕМС визначається за критерієм допустимого зниження якості функціонування для групи рецепторів в цілому:

$$Q_{\Sigma}^{(K)} \geq Q_{\SigmaДОП}^{(K)} \rightarrow \text{ЕМС}(N_{РП} \leftarrow N_{ДП}); \quad (9)$$

$$Q_{\Sigma}^{(K)} < Q_{\SigmaДОП}^{(K)} \rightarrow \text{порушення ЕМС} \quad (10)$$

Комплексна оцінка є якнайповнішою і дозволяє судити про виконання або порушення ЕМС в групі засобів, що виконують загальне завдання, коли зниження якості функціонування окремих складових не дає повної картини впливу неумисної електромагнітної перешкоди (НЕМП) на результат спільної роботи цих складових.

Прикладом комплексної оцінки аналізу ЕМС РЕЗ може служити сукупність підсистем на борту сучасного БПЛА, що включає засоби, навігації, радіолокації, зв'язку і т.ін.

Інформація про погіршення показників цих підсистем під дією НЕМП не дає сама по собі повної картини впливу перешкод на результат виконання поставленого загального завдання, наприклад моніторингу повітряної або наземної обстановки.

Зважаючи на значну громіздкість процедур аналізу при груповій і тим більше комплексній оцінці розглянемо тільки процедури отримання парної оцінки ЕМС в групі засобів.

Здійснення парної оцінки може проводитися як на основі детермінованого підходу, так і імовірнісного [6]. При детермінованому підході усі величини, що визначають значення $P_{PIj}^{(i)}$, вважаються детермінованими і перевірка виконання умови ЕМС полягає в порівнянні величини $P_{PIj}^{(i)}$ з допустимим значенням. Рішення щодо електромагнітної сумісності приймається при перевірці виконання умови :

$$P_{PIj}^{(i)} > P_{PIj\text{ДОП}}^{(i)} \rightarrow \text{порушення ЕМС} \quad (11)$$

Існує ряд вагомих причин, по яких реальне використання детермінованого підходу може призводити до незадовільних (часто надмірно завищених) результатів :

- апіорна недостатність інформації про значення параметрів, що визначають значення $P_{PIj}^{(i)}$;
- зміна параметрів ЕМС внаслідок впливу температурних, кліматичних чинників, старіння елементів і таке інше;
- робота технічних засобів, в різних динамічних ситуаціях, коли змінюються відстані між засобами, їх взаємна орієнтація, зміна частотних каналів і так далі.

В усіх перерахованих випадках результатом є те, що при детермінованому підході або розглядається найгірший випадок (що призводить до надмірно жорстких оцінок), або використовуються деякі усереднені показники, що не дозволяють контролювати міру достовірності оцінок.

Імовірнісний підхід дозволяє в подібних випадках істотно підвищити достовірність оцінки виконання умов ЕМС. Згідно з імовірнісним підходом чинники, що визначають потужність перешкоди $P_{PIj}^{(i)}$ і відповідно, її значення, вважаються випадковими величинами. Факт виконання умови ЕМС $P_{PIj}^{(i)} \leq P_{PIj\text{ДОП}}^{(i)}$ також розглядається як випадкова подія, імовірність якої дорівнює:

$$P_{СУМ}^{(i,j)} = \int_0^{P_{PIj\text{ДОП}}^{(i)}} W(P_{PIj}^{(i)}) dP_{PIj}^{(i)}, \quad (12)$$

де $W(P_{PIj}^{(i)})$ - щільність розподілу величини $P_{PIj}^{(i)}$.

Згідно з імовірнісним підходом умова ЕМС j -го рецептора з i -м джерелом перешкод вважається виконаним, якщо імовірність порушення ЕМС $p_{\text{пор}}^{(i,j)} = 1 - p_{\text{сум}}^{(i,j)}$ мала, тобто не перевищує деякого допустимого значення $p_{\text{порДОП}}^{(i,j)}$. З іншого боку величина $P_{PIj}^{(i)}$ розглядається як випадкова, характеризується середнім значенням $m(P_{PIj}^{(i)})$ і середньоквадратичним відхиленням (СКВ) - $\sigma P_{PIj}^{(i)}$. Як відомо з теорії імовірності [7], відхилення випадкової величини від її середнього значення на величину, що перевищує декілька значень СКВ, маловірогідні.

Таким чином, згідно до імовірнісного підходу умова ЕМС вважається виконаною, якщо

$$m(P_{PIj}^{(i)}) + \xi \sigma P_{PIj}^{(i)} \leq P_{PIj\text{ДОП}}^{(i)}, \quad (13)$$

де величина ξ визначається допустимою імовірністю порушення ЕМС: $\xi = \xi(P_{\text{порДОП}}^{(i,j)})$

Згідно з імовірнісним підходом для кожної i, j -ої пари засобів оцінюють середні значення $m(P_{PIj}^{(i)})$ і середньоквадратичні відхилення $\xi\sigma P_{PIj}$ величини потужності перешкоди, що діє на j -й рецептор від i -го джерела, і порівнюють їх зважену суму (13) з рівнем допустимої перешкоди.

Висновки

Таким чином запропонований аналіз дозволяє проводити попереднє прогнозування виконання умов електромагнітної сумісності в групі радіоелектронних засобів, які мають деяке число джерел перешкод і радіотехнічних пристроїв на які вони впливають. При цьому важливим питанням перевірки забезпечення ЕМС РЕЗ є визначення величини допустимої потужності $P_{PIjDOП}^{(i)}$ при якій забезпечується електромагнітна сумісність.

Література

1. Закон України «Про радіочастотний ресурс України». <http://zakon.nau.ua/doc/?code=1770-14>
2. Седельников Ю.Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Учебное пособие. - Казань. ЗАО «Новое знание», 2006 - 304 с.
3. Мельникова Л.И. Методы обеспечения электромагнитной совместимости в коллективе радиоэлектронных средств связи на этапе функционирования.//Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2004.-№4(10).- С.80-83.
4. Петровский В.И., Седельников Ю.Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. М: Радио и связь. 1986. 216с.
5. Малков, Н.А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств :учеб. пособие / Н.А. Малков, А.П Пудовкин. - Тамбов : Идц-во Тамб.гос. техн. ун-та, 2007.-88 с. - 100 экз. -13ВЫ 978-5-8265-0659-2.
6. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1982. - 624 с.
- 7.Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. — 6-е изд. стер. — М.: Высш. шк., 1999. - 576 с.

Надійшла 29.05.2012 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Хорошко В.О.