

СИНТЕЗ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Лукова-Чуйко Наталія ¹
orcid.org/0000-0003-3224-4061

Наконечний Володимир ²
orcid.org/0000-0002-0247-5400

Сайко Володимир ³
orcid.org/0000-0002-3059-6787

Толупа Сергій ⁴
orcid.org/0000-0002-1919-9174

¹ м. Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, lukova@ukr.net

² м. Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, nvc2006@i.ua

³ м. Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, tolupa@i.ua

⁴ м. Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, vgsaiko@gmail.com

Історія статті:

Надійшла до редакції 17.06.2019

Прийнято 11.08.2019

Ключові слова:

електромагнітне поле,
електромагнітна сумісність;
навмисні перешкоди;
радіотехнічна система;
радіоелектронні засоби;
умови електромагнітної
сумісності.

Анотація: Сучасний розвиток радіотехнічних засобів характеризується зростанням швидкодії процесів передачі й обробки інформації, мініатюризацією та інтеграцією в єдині комплекси, що фізично зближує джерела і рецептори перешкод. Все це призводить до посилення вимог щодо забезпечення виконання умов електромагнітної сумісності і до необхідності її оцінювання на стадії проектування радіотехнічних пристроїв і систем. Неповна або невірна оцінка цих вимог приводить до значного зростання часових і матеріальних витрат виробника, на подальше доопрацювання розроблювальної електронної апаратури і зниження її конкурентоспроможності. Широке використання різних за призначенням радіоелектронних засобів призводить до зростання рівнів електромагнітних полів, що створюються ними в навколишньому просторі. Ці поля є перешкодами для інших подібних пристроїв, можуть погіршувати умови функціонування і знижувати ефективність їх застосування. Цей процес має характерні риси діалектичного розвитку - прогрес в цій області стримується негативними явищами, породженими її розвитком. Подальший прогрес вимагає подолання цієї тенденції, тобто розвитку на новому якісному рівні, що полягає в забезпеченні спільного функціонування різних електронних засобів. Принциповим є те, що дії електромагнітних полів, які створюються одними технічними засобами на інші, здійснюються для передачі інформації, її обробки, або навпаки, порушення процесу передачі і обробки даних. Тому в роботі запропонований відповідний 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. При цьому, важливим питанням перевірки забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів є визначення величини припустимої потужності при якій забезпечується умова електромагнітної сумісності. Метою даної статті є розгляд, із загальних позицій, основних завдань аналізу та оцінювання електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів.

Abstract: Modern development of radio equipment is characterized by an increase in the speed of processes of transmission and processing of information, miniaturization and integration into unified complexes that physically bridges the sources and receptors of interference. All this leads to the strengthening of the requirements to ensure compliance with the conditions of electromagnetic compatibility and the need for its evaluation at the design stage of radio engineering devices and systems, because the incomplete or incorrect assessment of these requirements leads to a significant increase in time and material costs of the manufacturer, for further development of the development of electronic equipment and reduction its competitiveness. Widespread use of different purposeful electronic means leads to an increase in the levels of electromagnetic fields created by them in the surrounding space. These fields are obstacles for

other similar devices, may degrade the operating conditions and reduce the effectiveness of their use. In this process, it is easy to see the characteristic features of dialectical development - progress in this area is restrained by the negative phenomena generated by its development. Further progress requires the overcoming of this trend, that is, development on a new quality level, which is to ensure the joint operation of various means. The key is that the actions of the electromagnetic fields, which are created by some technical means to the other, are carried out for the transmission of information, its processing, or vice versa, violation of the process of transmission and processing of data. Therefore, an analysis is proposed that allows preliminary prediction of the fulfillment of the conditions of electromagnetic compatibility in a group of radio-electronic means that have a number of sources of interference and radio engineering devices on which they affect. In this case, the important issue of checking the provision of electromagnetic compatibility of radio-electronic means is to determine the magnitude of the permissible power at which provides electromagnetic compatibility. The purpose of this article is to consider, from the general positions, the main tasks of the analysis and evaluation of the electromagnetic compatibility of radio-electronic means

1. ВСТУП

Широке використання різних за призначенням радіоелектронних засобів (РЕЗ) призводить до зростання рівнів електромагнітних полів, що створюються ними в навколишньому просторі. Такі поля є перешкодами для інших подібних пристроїв, вони можуть погіршувати умови їх функціонування і знижувати ефективність застосування.

Сучасний розвиток радіотехнічних засобів (РТЗ) характеризується зростанням швидкодії процесів передачі й обробки інформації, мініатюризацією та інтеграцією в єдині комплекси, що фізично зближує джерела і рецептори перешкод. Все це призводить до посилення вимог щодо забезпечення виконання умов електромагнітної сумісності (ЕМС) і до необхідності її оцінювання на стадії проектування радіотехнічних пристроїв і систем. Неповна або невірна оцінка цих вимог приводить до значного зростання часових і матеріальних витрат виробника, на подальше доопрацювання розроблювальної електронної апаратури і до зниження її конкурентоспроможності.

Усе це загострює проблему забезпечення виконання умов ЕМС, яка має виражений системний характер. При оцінюванні ЕМС радіоелектронних систем (РЕС) мають розглядатися завдання внутрішньо-системної оцінки ЕМС, коли враховуються невідомі перешкоди (НВП), що створюються засобами конкретного об'єкту, а також завдання міжсистемного оцінювання ЕМС, коли в якості джерел перешкод розглядаються різні типи існуючих РЕС.

- я ЕМС при переміщенні РЕС і зміні умов їхньої експлуатації;
- відпрацювання варіантів заходів щодо

Оцінювання ЕМС радіотехнічних засобів є загальним завданням, з яким доводиться контактувати на різних етапах життєвого циклу РТЗ різного призначення і типу. Тому на стадії планування і проектування РТЗ актуальність проблеми ЕМС не зменшується. Це обумовлено збільшенням концентрації РЕЗ в обмеженому просторі, розширенням їх типу і підвищенням ролі радіоелектронних засобів, при розв'язанні найрізноманітніших завдань. При цьому відсутність оцінювання вимог ЕМС на стадії планування і проектування виробу приводить до серйозних труднощів щодо забезпечення безперешкодної роботи РЕС на подальших стадіях їх життєвого циклу.

На стадії проектування виробу має проводитися всебічне оцінювання ЕМС засобів, що розробляються з усіма існуючими, які можуть використовуватися спільно на одній території. При цьому, оцінювання ЕМС має проводитися з урахуванням усього комплексу РЕЗ об'єкту і з урахуванням умов їхнього застосування за призначенням.

При випробуваннях зразків РЕС, в основному, застосовується експериментальний метод оцінювання ЕМС, проте, використовуються також і теоретичні методи. Найгостріше проблема ЕМС відчувається на етапі експлуатації радіоелектронних систем. На цьому етапі виникають численні завдання щодо забезпечення безперешкодної роботи РЕС. До таких завдань можна віднести:

- оцінювання ступеня забезпечення ЕМС при розміщенні РЕЗ на об'єктах (БПЛА, автомобілях, кораблях і т. п.) і місцевості;
- прогнозування

забезпечення умов виконання ЕМС РЕС і т. і.

Проблема ЕМС особливо актуальна для мобільних РТС, на повітряних, наземних, або

водних носіях, у складі яких передбачається одночасне застосування різних засобів радіолокації та телекомунікації. Виходячи з того, що РТС є складними і багатовимірними системами слідує необхідність системного розгляду питання ЕМС і її компонентів. Такий системний аналіз забезпечення ЕМС має базуватися на єдиному підході до усіх її складових частин з урахуванням взаємного впливу їх один на одного і на систему в цілому.

На практиці це припускає використання системного підходу до забезпечення ЕМС РЕЗ, починаючи з ранніх етапів життєвого циклу, а саме, при виборі концепції їх побудови, у ході схемотехнічного, конструкторського і технологічного проектування, а також у ході процесу виробництва з урахуванням використання засобів активного контролю.

Усе це визначило актуальність, важливість і практичну значущість вирішуваної в цій статті науково-технічної задачі - оцінювання виконання умов ЕМС РТС, у тому числі її підсистем, локалізованих в обмеженому просторі.

2. Постановка проблеми

Проблема електромагнітної сумісності має два аспекти, що доповнюють один одного. Будь-яка ситуація електромагнітної несумісності повинна мати джерело перешкод і рецептор, який чутливий до цих перешкод. Якщо одна з цих складових відсутня, то відсутня і проблема ЕМС. Є також і третій чинник - зв'язок між джерелом і рецептором, який може бути безпосереднім, при їх близькості, або за допомогою енергії випромінювання. Деякі пристрої в одній ситуації можуть бути джерелами перешкод, і рецепторами в іншому випадку.

Проблема ЕМС РТС є певною конкретизацією відомої проблеми завадозахищеності РЕЗ. Фундаментальні роботи Котельникова В.А., Гуткіна Л.С., Тихонова В.І., Трифонова А.П. і багатьох інших учених, які працюючи над загальними завданнями завадостійкості радіоприймальних пристроїв, підготували велику теоретичну базу для розв'язання багатьох конкретних завдань ЕМС РТС [1-5].

Проте, проблема забезпечення ЕМС радіoeлектронних засобів ставить нові задачі, що визначаються специфікою їх спільної роботи. В загальному випадку розв'язання проблеми ЕМС нині проводиться за двома напрямками: організаційними і технічними заходами.

Організаційні заходи застосовуються, в основному, для захисту від Неп, що створюються "своїми" джерелами. Завдання забезпечення ЕМС радіотехнічних засобів має

розглядатися, як завдання оптимізації спільної роботи структури і властивостей усього комплексу РТС. Зокрема, розв'язання проблеми може зводитися до завдання оптимізації просторового розташування РТС, регламентації використання частотного діапазону, а також задачі оптимального управління параметрами сигналів і характеристик РЕЗ [5-6].

Технічні заходи захисту від неумисних і організованих перешкод передбачають впровадження дієвих заходів індивідуального захисту радіоприймальних пристроїв (РПрП). Проведення відповідних організаційних і технічних заходів, створюють умови для недопущення перешкод від передавальних засобів на вхід приймальних пристроїв за рахунок їх синхронізації, або проведення жорсткої регламентації використання часового і частотного ресурсу. Проте, при цьому не вирішується проблема захисту від перевіддзеркалення власного випромінювального сигналу і прийому імпульсів "своїх" РЕЗ, не охоплених організаційними заходами, а також від організованих перешкод різної структури і інтенсивності.

3. Виклад основного матеріалу

Сучасні РЕЗ до певної міри захищені від стандартного набору небезпечних перешкод, розроблених ще у 60-70 роках минулого століття. Проте, в останні роки можливості систем радіoeлектронної боротьби (РЕБ) істотно зросли. Насамперед, за рахунок впровадження елементів цифрової техніки з'явилася можливість формувати ефективні сигналоподібні перешкоди, що ускладнюють або блокують процес спостереження РЛС в режимі огляду і призводять до зриву режимів автоматичного супроводження об'єктів. Крім того використання цифрових каналів зв'язку відкрило новий напрям радіoeлектронного пригнічення, як в спеціальних сферах їх застосування, так і для каналів загального користування. Це так звані імітаційні перешкоди, які дозволяють несанкціоновано впливати, як на засоби обробки сигналів у прийальному тракті каналу зв'язку, так і на системи тактової і циклової синхронізації [7].

Захист від радіоперешкод різної природи і інтенсивності базується на відмінності структури і закономірностей зміни параметрів, властивих корисним сигналам і діям, що заважають. Це забезпечується захистом від перевантажень приймачів, селекцією сигналу від перешкод, компенсацією перешкод, використанням адаптивних методів захисту. На теперішній час у сучасних бортових РЛС для боротьби з локальними перешкодами застосовують

некогерентні компенсатори, що забороняють проходження сигналів перешкод, якщо їх значення в основному каналі прийому менше значення в компенсаційному каналі з не напрямленою антеною [8]. Проте, використання принципу заборони призводить до того, що разом із сигналами перешкод пригнічуються і корисні сигнали, відбиті від реальних об'єктів. Пригнічення перешкод можливе лише при значному кутовому рознесенні об'єктів і постановника перешкод.

Одним з ефективних способів боротьби з розподіленими в просторі перешкодами в однопозиційних РЛС є формування провалів (нулів) діаграми спрямованості антени в напрямі на постановників перешкод, що реалізовується за допомогою адаптивних фазованих антенних решіток, або широко вживаних в наземних і корабельних РЛС автокомпенсаторів бічних пелюсток антени [7-9].

В реальних умовах "нулі" діаграми спрямованості антени бортової РЛС мають кінцеве значення. Як наслідок, при високому потенціалі станцій активних перешкод, що забезпечується потужним передавачем і фазованими антенними решітками із спрямованим випромінюванням, можливі ситуації, коли залишки перешкод, що не компенсуються, перевищуватимуть за потужністю сигнал відбитий від об'єкта спостереження. Це може привести до пригнічення сигналу від об'єкту, або появи неправдивих відміток на індикаторі в тих напрямках, де об'єкт відсутній. Деякі, існуючі нині, способи захисту бортових РЛС від організованих перешкод описані в [7-9]. Додаткові можливості у боротьбі з чи вигравш при обробці за рахунок кореляційного стискання спектру прийнятого корисного сигналу в смузі модулюючих частот при одночасному розширенні спектру перешкоди.

До сучасних методів захисту цифрових РЕЗ від адитивних перешкод, а також від мультиплікативних перешкод можна віднести використання оптимальних (квазіоптимальних) алгоритмів демодуляції цифрового сигналу, вибір оптимальної структури сигналу, а також використання адаптивних завадостійких кодів, узгоджених з каналом зв'язку [8, 10, 11].

Для захисту ШССЗ від коливань, що заважають, рівень яких перевищує забезпечуваний базою припустимий запас завадостійкості (рівень імовірності помилки на біт), застосовують різні методи пригнічення перешкод, які можна розділити на дві групи [8-10]:

сигналоподібними і багатоточковими перешкодами з'являються при організації колективного захисту від завад у рамках багатопозиційних радіолокаційних систем.

Останніми роками значний прогрес в РТС та телекомунікаційних технологіях досягнутий завдяки переходу на цифрові види зв'язку і обробки інформації з використанням сучасних видів модуляції. Проте, проблеми захищеності від завад і ЕМС існують і в сучасних системах зв'язку. Істотні радіочастотні перешкоди, властиві усім бездротовим системам і є одним з найбільш важливих параметрів в системах мобільного зв'язку. Неумисні і організовані перешкоди різної інтенсивності можуть проникати в системи радіозв'язку, як по основному, так і по побічних каналах прийому [9-11]. Одним із шляхів підвищення завадостійкості РТС зв'язку, радіолокації і радіонавігації є застосування широкосмугових шумоподібних сигналів, що формуються на основі технології розширення спектру (Spread Spectrum, SS) [10, 11]. Розширення спектру є метод формування сигналу за допомогою додаткового ступеня модуляції, що забезпечує не лише розширення спектру сигналу, але і послаблення його впливу на інші сигнали [12, 13].

Широкосмугові системи зв'язку (ШССЗ) знаходять застосування завдяки своїм потенційним перевагам [9, 10]. При роботі в лінійному режимі, системи з розширенням спектру забезпечують істотне пригнічення, як перешкод з вузькою смугою частот (зокрема, гармонійних), так і широкосмугових перешкод забезпечую

- режекція ураженої частини спектру шумоподібного сигналу (ШПС);

- компенсація перешкоди в РПрП шляхом створення її копії з подальшим відніманням створеної копії перешкоди з вхідного сигналу.

Реалізація цих методів захисту здійснюється, в основному, цифровим способом на проміжній або відео частоті РПрП. При цьому вважають, що вхідні НВЧ каскади РПрП перетворюють вхідну суміш корисного сигналу, шуму і перешкод лінійно, не вносячи значних спотворень в сигнал, що підлягає обробці.

В умовах зростаючої кількості працюючих РТС бездротового зв'язку, виникають ситуації, коли рівень перешкод, що надходить на вхід ШССЗ, перевищує можливості динамічного діапазону (ДД) вхідних каскадів РПрП. Аналогічна ситуація можлива у разі цілеспрямованого пригнічення діючої ШССЗ потужною вузькосмуговою перешкодою (ВП).

У цьому випадку вхідні НВЧ каскади ПрП, а саме малошумливий підсилювач (МШП) і змішувач переходять в нелінійний режим роботи. Спотворення корисного ШПС, що виникають внаслідок нелінійних перетворень у вхідних каскадах ПрП, неможливо компенсувати подальшою цифровою обробкою, оскільки характер таких спотворень важко передбачуваний. Отже, виникає необхідність додаткового захисту вхідних каскадів ШССЗ від дії потужних перешкод.

Виходячи з того, що до основних критеріїв ефективності сучасних РТС належать мобільність і здатність функціонувати з високими якісними показниками в умовах невизначеної складної задовою обстановка і часу, наближеного до реального необхідно, щоб така РТС була розміщена на швидкісних повітряних носіях в якості яких можна застосовувати, наприклад, БПЛА. За допомогою таких комплексів набагато ефективніше і дешевше розв'язуються завдання, як дистанційного моніторингу важкодоступних районів, в яких отримання інформації звичайними засобами, включаючи авіарозвідку, ускладнене або ж наражає на небезпеку життя людей. Вимірювана інформація в режимі реального часу з БПЛА має передаватися на пункт управління для обробки та ухвалення відповідних рішень [14, 15].

Перераховані вимоги, що покладаються на БПЛА, неможливі без розв'язання ряду науково-технічних завдань спрямованих на [16]:

- підвищення корисного навантаження БПЛА;
- розробку сучасної, легкої і надійної апаратури на базі мікро, нано та піко технологій сприяючи підвищенню ефективності управління БПЛА, збору і передачі інформації на пункти її обробки;
- покращення функціонування БПЛА в умовах невизначеності пов'язаної з ЕМС різних радіоелектронних засобів, як зовнішніх, так і таких, що знаходяться на їхньому борту.

Як правило, перші два класи завдань вирішуються комплексно. Підвищення навантажувальної здатності БПЛА дозволяє встановлювати на його борту додаткову сучасну апаратуру на основі використання метаматеріалів та нанотехнологій, що у свою чергу, підвищує ефективність і розширює коло вирішуваних БПЛА завдань [17].

Розв'язання третього завдання пов'язане з труднощами аналізу ЕМС різних за призначенням РЕЗ, причинами виникнення ненавмисних перешкод, чинниками, що визначають їх поширення і схильність РЕЗ до їхнього впливу. Дія навмисних перешкод (НаП)

може суттєво погіршити якість і ефективність функціонування РЕЗ. Тому метою даної статті є розгляд, із загальних позицій, основних завдань аналізу та оцінювання ЕМС до числа яких відносять [16, 18, 19]:

- аналіз електромагнітної обстановки (ЕМО), під якою розуміється сукупність електромагнітних полів, що існують у визначеній області простору і які характеризуються розподілом їх інтенсивності за частотою і часом. Залежно від конкретного випадку може йтися про ЕМО на об'єкті (приміщення, корабель, літак і т. ін.), в конкретному місці, районі, області і т. п.;

- аналіз виконання умов ЕМС у групі засобів на різних етапах життєвого циклу РЕЗ;

- аналіз параметрів ЕМС технічних засобів.

Основним змістом завдань цієї групи є методи і засоби отримання кількісної інформації про відповідність параметрів різних РЕЗ нормативно-технічної документації в області ЕМС.

Для розв'язання другої та третьої груп завдань використовуються:

- аналітичні методи аналізу, реалізовані у вигляді пакетів програм, для завдань прогнозування ЕМС;

- методи фізичного і математичного (імітаційного) моделювання, для оцінювання параметрів ЕМС (рівнів допустимих перешкод);

- експериментальні методи, для визначення параметрів ЕМС, а також на завершальній стадії створення різних радіоелектронних комплексів, завершальних випробуваннях у ході яких в числі інших показників здійснюється і контроль виконання умов ЕМС.

4. РЕЗУЛЬТАТИ

Метою аналізу ЕМС в групі радіоелектронних засобів є прогноз виконання умов, при яких забезпечується електромагнітна сумісність в деякій сукупності РЕЗ, що містить джерела перешкод $N_{\text{ДП}}$ і рецепторів $N_{\text{РП}}$.

В основу здійснення аналізу покладене наступне. Кожний технічний засіб, що є рецептором перешкод, призначений для певних функцій і характеризується показником якості $Q_{\text{РП}}$, що відображає їх виконання. Під дією перешкоди i -го типу якість виконання цих функцій знижується, що можна представити як зменшення значення $Q_{\text{РП}}(P_{\text{РП}})$ (рис. 1).

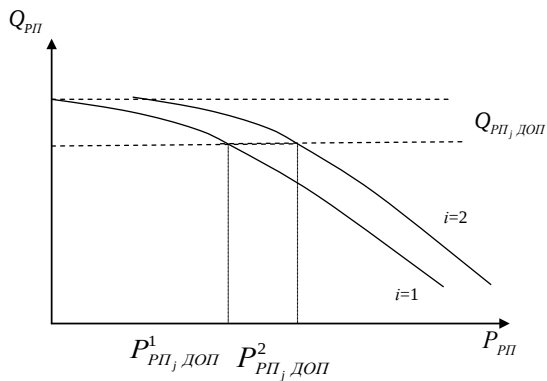


Рис. 1 - Графіки залежностей показників якості виконання функцій від дії i -го джерела перешкоди
Допустимому зниженню якості Q_{PP} відповідає перешкода i -го виду з рівнем не більше $P_{PP,доп}^1$. Перешкоди, при яких не відбувається неприпустимого зниження якості функціонування i -го рецептора, називають допустимими. При цьому, рівні допустимих перешкод j -му рецептору розрізняються залежно від спектрального складу і часових характеристик перешкоди i -го виду. Тому для різних видів перешкод значення $P_{PP,доп}^i$ також різні.

Припустимо, що вказані величини для j -го рецептора відомі. У цьому випадку принцип аналізу виконання умови ЕМС у групі засобів полягає в знаходженні величин $P_{PP_j}^1$ і порівнянні їх з допустимими значеннями. Це може бути виконано на різних основах. Розрізняють наступні способи здійснення такого аналізу: парну, групову [20] й запропановану комплексно-групову оцінки [17].

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

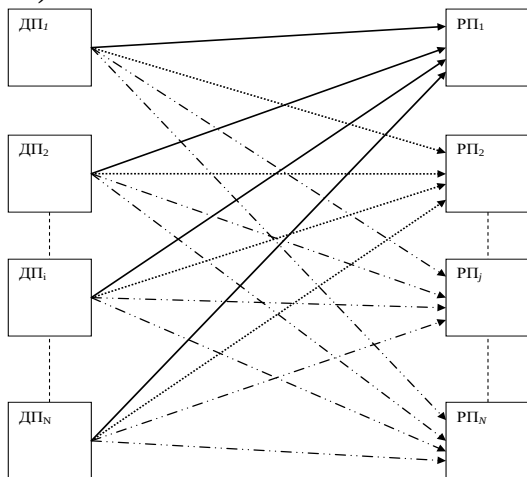


Рис. 2 - Метод парного оцінювання ЕМС РЕЗ

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

$$Q_{PP_j}(P_{PP_j}) \geq Q_{PP,доп}^i \rightarrow \text{ЕМС.}$$

$$Q_{PP_j}(P_{PP_j}) < Q_{PP,доп}^i \rightarrow \text{порушення ЕМС,}$$

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

$$P_{PP_j}(P_{ДП_i}) \leq P_{PP,доп}^i \rightarrow \text{ЕМС } (j \leftarrow i), (1)$$

$$P_{PP_j}(P_{ДП_i}) > P_{PP,доп}^i \rightarrow \text{порушення ЕМС.}$$

Метод парного оцінювання є найбільш простим у здійсненні, але в той же час не завжди вірогідним, 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, який генерує небажані частоти, як у приймачі, так і інтермодуляційне випромінювання передавачів.

Більш вірогідним є метод групового оцінювання, при якому розглядаються по черзі дія кількох джерел $N_{ДП}$ на кожний з рецепторів у групі (рис. 3).

При методі групового оцінювання виходять з того, що якість функціонування j -го рецептора Q_{PP_j} залежить від рівнів перешкод, які створюються рядом джерел:

$$Q_{PP_j}^K = Q_{PP}(P_{PP_K} \dots P_{PP_{K+N_{ДП}}}).$$

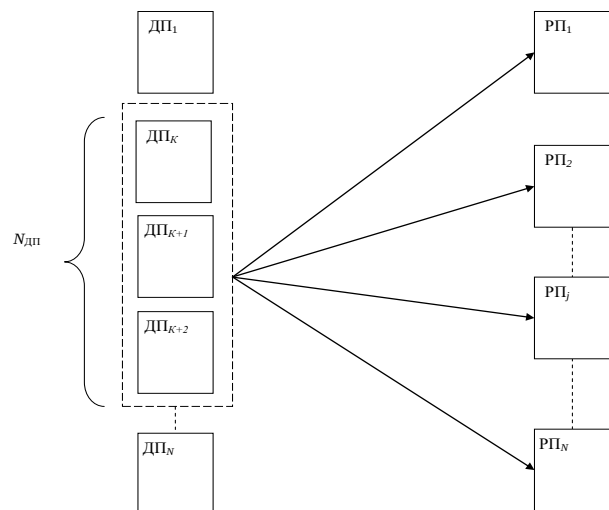


Рис. 3 - Метод групового оцінювання ЕМС РЕЗ

Відповідно факт виконання або невиконання умов ЕМС перевіряється по зниженню якості кожного з $РП_N$ рецепторів з кожною з груп джерел:

$$Q_{RP_j}^K \geq Q_{RP_j, \text{доп}} \rightarrow \text{ЕМС} (j \leftarrow N_{\text{дп}});$$

$$Q_{RP_j}^K < Q_{RP_j, \text{доп}} \rightarrow \text{порушення ЕМС}.$$

Метод групового оцінювання дозволяє враховувати вплив всіляких ефектів, пов'язаних з позасмуговими ефектами в рецепторах і інтермодуляцію в джерелах перешкод. Платою за це є підвищення трудомісткості розрахункових процедур.

Незважаючи на велику міру адекватності і реальності, деякі аспекти забезпечення ЕМС у групі засобів і при груповому оцінюванні залишаються поза увагою. В основному це стосується комплексів технічних засобів, що складаються із різних джерел і рецепторів перешкод і при цьому розв'язують деяку загальну для усієї групи задачу.

Для якомога повнішої оцінки впливу різних ефектів, що з'являються в приймально-передавальних і сигнальних трактах РЕЗ запропоновано метод комплексно-групового оцінювання ЕМС радіоелектронних засобів.

При методі комплексно групового оцінювання ЕМС РЕЗ розглядається група радіотехнічних засобів, що виконують різні функції, спрямовані на досягнення деякої загальної для усієї групи мети (рис. 4).

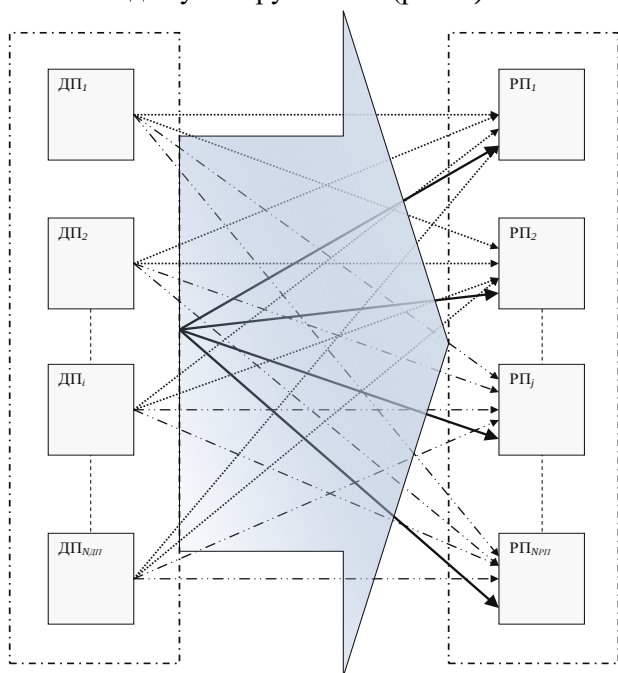


Рис. 4 - Метод комплексно групового оцінювання ЕМС РЕЗ

Розглянемо метод комплексно групового оцінювання детальніше. Нехай величина Q_{Σ} характеризує якість функціонування групи рецепторів, що вирішує загальну задачу:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\Sigma}(Q_{RP_1}, \dots, Q_{RP_j}, \dots, Q_{RP_n}),$$

причому кожен з частинних показників якості окремих рецепторів залежить від рівнів перешкод, що діють з боку усієї групи джерел (аналогічно груповому оцінюванню).

Виконання або порушення умов ЕМС визначається за критерієм допустимого зниження якості функціонування для групи рецепторів у цілому:

$$Q_{\Sigma}^K \geq Q_{\Sigma, \text{доп}}^K \rightarrow \text{ЕМС} (N_{\text{рп}} \leftarrow N_{\text{дп}});$$

$$Q_{\Sigma}^K < Q_{\Sigma, \text{доп}}^K \rightarrow \text{порушення ЕМС}.$$

Метод комплексно групового оцінювання дозволяє судити про виконання або порушення ЕМС у групі засобів, що виконують загальне завдання, коли зниження якості функціонування окремих складових не дає повної картини впливу ненавмисної електромагнітної перешкоди на результат спільної роботи цих складових.

Прикладом аналізу методом комплексно групового оцінювання ЕМС РЕЗ може служити сукупність підсистем на борту сучасного БПЛА, що включає засоби, навігації, радіолокації, зв'язку, канал розпізнавання і т. ін.

Інформація про погіршення показників цих підсистем під дією Неп не дає сама по собі повної картини впливу перешкод на результат виконання поставленого загального завдання, наприклад моніторингу повітряної або наземної обстановки та розпізнавання виявлених об'єктів.

Проведемо розгляд процедури отримання парного оцінювання ЕМС в групі засобів.

Здійснення метода парного оцінювання може проводитися, як на основі детермінованого підходу, так і ймовірного. При детермінованому підході усі величини, що визначають значення $P_{RP_j}^i$, вважаються детермінованими і перевірка виконання умови ЕМС полягає в порівнянні величини $P_{RP_j}^i$ з допустимим значенням.

Рішення щодо електромагнітної сумісності приймається при перевірці виконання умови:

$$P_{RP_j}^i > P_{RP_j, \text{доп}}^i \rightarrow \text{порушення ЕМС}.$$

Існує ряд вагомих причин щодо яких реальне використання детермінованого підходу може привести до незадовільних (часто надмірно завищених) результатів:

- апріорна недостатність інформації про значення параметрів, що визначають значення $P_{RP_j}^i$;

- зміна параметрів ЕМС внаслідок впливу температурних, кліматичних чинників, старіння

елементів і т. ін.;

- 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, які не дозволяють контролювати міру вірогідності оцінок.

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

$$P_{\text{СУМ}}^{i,j} = \int_0^{P_{\text{РП}_j, \text{доп}}^i} W(P_{\text{РП}_j}^i) dP_{\text{РП}_j}^i, \quad (2)$$

де $W(P_{\text{РП}_j}^i)$ - щільність розподілу величини $P_{\text{РП}_j}^i$.

Згідно з імовірнісним підходом умова ЕМС j -го рецептора з i -м джерелом перешкод вважається виконаю, якщо ймовірність порушення ЕМС $P_{\text{ПОР}}^{i,j} = 1 - P_{\text{СУМ}}^{i,j}$ мала, тобто не перевищує деякого припустимого значення $P_{\text{ПОР ПРИП}}^{i,j}$.

З іншого боку величина $P_{\text{РП}_j}^i$ розглядається як випадкова та характеризується середнім значенням $m(P_{\text{РП}_j}^i)$ і середньоквадратичним відхиленням (СКВ) - $\sigma(P_{\text{РП}_j}^i)$.

Як відомо з теорії ймовірності, відхилення випадкової величини від її середнього значення на величину, що перевищує декілька значень СКВ, малоймовірні. Отже, відповідно до ймовірнісного підходу умова ЕМС вважається виконаною, якщо:

$$m(P_{\text{РП}_j}^i) + \xi \sigma(P_{\text{РП}_j}^i) \leq P_{\text{РП}_j, \text{ПРИП}}^i, \quad (3)$$

де величина ξ визначається припустимою ймовірністю порушення ЕМС

$$\xi = \xi(P_{\text{ПОР ПРИП}}^{i,j}).$$

Згідно до ймовірнісного підходу для кожної i, j -ої пари засобів оцінюють середні значення $m(P_{\text{РП}_j}^i)$ і середньоквадратичні відхилення $\xi \sigma(P_{\text{РП}_j}^i)$ величини потужності перешкоди,

що діє на j -й рецептор від i -го джерела, і порівнюють їх зважену суму (3) з рівнем допустимої перешкоди.

5. ВИСНОВКИ

Таким чином, запропонований аналіз дозволяє проводити попереднє прогнозування виконання умов ЕМС 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 припустимої потужності $P_{\text{РП}_j, \text{ПРИП}}^i$ при якій забезпечується ЕМС.

6. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости / В.А. Котельников. - М: Радио и связь, 1998. - 400 с.
- [2] Гуткин Л.С. Теория оптимальных методов радиоприёма при флуктуационных помехах / Л.С. Гуткин. - М.: Сов. радио, 1972. - 487 с.
- [3] Тихонов В.И. Помехоустойчивость оптимальных методов приёма фазомодулированных и частотно-модулированных радиосигналов / В.И. Тихонов // Электросвязь. - 1969. - № 3. - С. 25-32.
- [4] Трифонов А.П. Совместное различение сигналов и оценка их параметров на фоне помех / А.П. Трифонов, Ю.С. Шинаков. - М.: Радио и связь, 1986. - 286 с.
- [5] Вазин В.А. Оптимизация характеристик ЭМС РТС путем автоматического управления ее параметрами / В.А. Вазин, В.Р. Железцов, В.М. Соловьев // Радиоизмерительная аппаратура для решения задач ЭМС РЭС: Межвузовский сб., Горький, Горьк. гос. ун-т. - 1989. - С. 30-34.
- [6] Силин А.В. Оценка ЭМС в комплексе РЭС свяи / А.В. Силин // Радиоизмерительная аппаратура для решения задач ЭМС РЭС: Межвузовский сб., Горький, Горьк. гос. ун-т. - 1989. - С. 98-109.
- [7] Орошук И.М. Новые технологии радиоэлектронного подавления каналов автоматизированных систем радиосвязи / И.М. Орошук. - Владивосток, ТОВМИ им С.О.Макарова, 2000. - 368 с.
- [8] Резонансні методи отримання і використання інформації в радіотехнології: Монографія / В.А. Дружинін, І.Р. Пархомей, С.В. Толюпа, В.С. Наконечний. - К.: Логос, 2013. - 146 с.
- [9] Методи та алгоритми обробки радіолокаційної інформації в багатопозиційних системах зі змінною просторовою конфігурацією /

- В.А. Дружинин, В.С. Наконечний, С.В. Толюпа, та ін. – К.: Логос, 2014. – 251 с.
- [10] Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра / К. Феер. – М. Радио и связь. – 2000. – 519 с.
- [11] Volodymyr Saiko, Serhii Toliupa, Volodymyr Nakonechnyi, Serhii Dakov (2018). The Method For Reducing Probability of Incorrect Data Reception In Radio Channels of Terahertz Frequency Range. 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET-2018, 174.
- [12] Малыгин В.И. Один из способов защиты широкополосных систем связи от мощных узкополосных помех / В.И. Малыгин // Телекоммуникации. – 2001. – №11. – С. 18-22.
- [13] Баруздин С.А. Нелинейная фильтрация узкополосных помех на основе ядерного магнитного резонанса / С.А. Баруздин // Радиотехника. – 2001. – №5. – С. 12.
- [14] Yudin O. K. et al. Basic Concepts and Mathematical Aspects in Channel Coding: Multialternative Rules //Cybernetics and Systems Analysis. – 2016. – Т. 52. – №. 6. – С. 878-883.
- [15] Yudin O. K. et al. A Method for Determining Informative Components on the Basis of Construction of a Sequence of Decision Rules //Cybernetics and Systems Analysis. – 2016. – Т. 52. – №. 2. – С. 323.
- [16] Наконечний В.С. Задачі аналізу електромагнітної сумісності радіотехнічних засобів в сучасних інформаційно-вимірювальних системах / В.А. Дружинин, В.С. Наконечний, С.В.Толюпа // Науково-технічний журнал “Сучасний захист інформації”. – 2014. – № 2. – С. 89–95.
- [17] Наконечний В.С. Огляд сучасних радіоелектронних пристроїв на основі штучних магнітодіелектриків і метаматеріалів / В.С. Наконечний // Зв’язок. – 2014. -№4. – С. 48–56.
- [18] Мельникова Л.И. Методы обеспечения электромагнитной совместимости в коллективе радиоэлектронных средств связи на этапе функционирования / Л.И. Мельникова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2004.- №4(10). – С. 80-83.
- [19] Седельников Ю.Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектрон-ных средств: учеб. пособ. / Ю.Е. Седельников. – Казань.: ЗАО «Новое знание», 2006. – 304 с.
- [20] Малков, Н.А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств :учеб. пособие / Н.А. Малков, А.П Пудовкин. – Тамбов : Изд-во Тамб.гос. техн. ун-та, 2007.- 88 с.



Лукова-Чуйко Наталія Вікторівна

Доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та захисту інформації Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Інтереси: інформаційні технології, криптографія, інформаційна та кібербезпека.

Наука: автор більше 60 наукових праць.



Наконечний Володимир Сергійович

Доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри кібербезпеки та захисту інформації Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Інтереси: системи розпізнавання багатопозиційного базування, системи технічного захисту інформації, кібербезпека та кіберзахист.

Наука: автор більше 130 наукових праць.



Сайко Володимир Григорович

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладних інформаційних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Інтереси: радіоінженерія, інформаційні технології.

Наука: автор більше 270 наукових праць, 4 монографій, 25 патентів на винахід.



Толюпа Сергій Васильович

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри кібербезпеки та захисту інформації Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Інтереси: інтелектуальні системи управління, напрямки підвищення ефективності функціонування інформаційних технологій, системи технічного захисту інформації, кібербезпека та кіберзахист..

Наука: автор більше 160 наукових праць.