

П. В. Хусаинов, к.т.н.

## ЗАДАЧА РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

*Рассматривается постановка задачи на разработку математической модели технического диагностирования автоматизированной (информационной) системы. Научная новизна заключается в использовании предложенного понятийного аппарата модели «сеть однотипных программно-аппаратных средств» для формализации ключевых логических зависимостей функций объекта.*

**Ключевые слова:** модель объекта технического диагностирования, сеть однотипных программно-аппаратных средств, автоматизированная (информационная) система

P. V. Khusainov, PhD

## THE PROBLEM OF THE MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT OF THE OBJECT TECHNICAL DIAGNOSTICS

*The formulation of the problem of the development of a mathematical model for the technical diagnosis of an automated (information) system is considered. Scientific novelty lies in using the proposed conceptual apparatus of the so called «a network of software and hardware of the same type» model to formalize the key logical dependencies of the functions of the object.*

**Keywords:** model of object of technical diagnosing, network of the same type of firmware, automated (information) system.

УДК 681.35

В. В. Кузавков<sup>1</sup>, д.т.н., А. О. Зарубенко<sup>1</sup>, О. Г. Янковський<sup>2</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, м. Київ

<sup>2</sup>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

## МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ, РОЗТАШОВАНИХ НА ЛОКАЛЬНОМУ ОБ'ЄКТІ

*Розглянуто основні методи забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, розташованих на локальному об'єкті, здійснено аналіз неосновних випромінювань та каналів їхнього прийому. Розглянуто методику розрахунку ширини смуги випромінювання на прикладі імпульсу дзвіноподібної форми.*

**Ключові слова:** електромагнітна сумісність, радіоелектронні засоби, неосновні випромінювання, канали прийому, випромінювання, гетеродин, приймач, передавач, конструктивне удосконалення, правильна експлуатація, ширина смуги випромінювання.

### Вступ

Розвиток та впровадження новітніх способів побудови системи зв'язку Збройних Сил України характеризується постійним зростанням кількості сучасних радіоелектронних засобів (РЕЗ), зростанням випромінюваних потужностей і чутливості прийомних пристроїв [1].

Діапазон робочих частот РЕЗ – обмежений. Це обумовлено особливостями розподілу частотного ресурсу, тому неминуче виникають взаємні перешкоди, вплив яких на якість організації передачі інформації в радіодіапазоні значно посилився в період з 2014 по 2017 роки і, безумовно, буде зростати і надалі [1]. Це пов'язано не тільки зі збільшенням загального числа одночасно пра-

цюючих РЕЗ різного призначення, а й із необхідністю локального розташування РЕЗ (розміщення та одночасне використання приймально-передавальної апаратури (радіостанцій) на транспортній базі, локальному об'єкті) та з застосуванням радіоелектронних комплексів придушення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**  
Аналіз джерел [1-6] виявив, що ефективність функціонування радіоелектронних засобів, в тому числі і військового призначення, які можуть бути розміщені на локальному об'єкті, в повній мірі залежить від електромагнітної сумісності цих засобів. Стаття присвячена аналізу основних методів забезпечення електромагнітної

сумісності РЕЗ.

**Постановка завдання.** Наявність взаємних перешкод змушує пред'являти особливі вимоги до РЕЗ, які входять до складу командно-штабних машин та мобільних пунктів управління [2]. Невиконання цих вимог може призвести до погіршення характеристик радіоліній аж до повної втрати ними працездатності. Значну увагу слід приділити питанням забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) РЕЗ (проекування, конструктивні рішення, організація експлуатації), розташованих на локальному об'єкті військового призначення, для яких характерні складні умови електромагнітної обстановки [2, 3].

#### **Виклад основного матеріалу**

Здатність спільної роботи РЕЗ без зниження до деякого допустимого рівня ефективності зветься електромагнітною сумісністю РЕЗ.

Одним із варіантів забезпечення ЕМС під час спільної роботи РЕЗ є підвищення завадостійкості приймача (приймачів) РЕЗ. Ефективними слід вважати ті варіанти забезпечення ЕМС, застосування яких зменшить рівень впливу зовнішніх завад на приймач не за рахунок підвищення завадостійкості, а в результаті застосування способів конструктивного вдосконалення (зміни конструктиву) та правильної експлуатації РЕЗ [4].

Розглянемо два основні методи забезпечення ЕМС [2, 4] та заходи, які вони передбачають:

- конструктивне вдосконалення радіоелектронної апаратури та антенних систем (зниження рівнів неосновних випромінювань, зниження рівня бокових пелюстків діаграми спрямованості, зменшення числа позасмугових каналів прийому);

- організаційні методи (правильна експлуатація РЕЗ – вибір частот (частотної смуги), розміщення РЕЗ та антенних систем, вибір режиму роботи).

Організаційний метод забезпечення (покращення) ЕМС передбачає дотримання та контроль угод щодо забезпечення ЕМС на міжнародному, міжвідомчому та регіональному рівнях. Цей спосіб включає в себе наступні заходи:

- планування використання спектру частот, що пов'язане з тим, що окремі полоси діапазонів радіочастот розподілені між відомствами (міністерство, служба та інші);

- призначення робочих частот РЕЗ, що направлене на забезпечення частотно-територіального розносу РЕЗ, особливо несумісних. Для виконання цього заходу спільно узгоджуються наступні питання: взаємне віддалення, робочі частоти, орієнтація характеристик направленості, використання екрануючих властивостей місцевості, обмеження режимів робочих час-

тот;

- обмеження режимів роботи РЕЗ. Ці заходи мають на меті виключити недоцільне використання РЕЗ за часом, частотою, потужністю випромінювання. Можливе встановлення заборони на використання РЕЗ, які є джерелом завад для більш пріоритетних РЕЗ в деякі моменти часу та на певних частотах.

Технічний метод це:

- розробка диференційних вимог до передаючих та приймальних (особливо антенних систем) пристроїв різного класу. Цей захід передбачає практичне усунення чи суттєве ослаблення заважаючих ефектів (неосновні, побічні випромінювання). Це досягається наступними шляхами: підвищення якості екранування, підвищення вибіркової лінійних ланцюгів, обмеження числа перетворення частоти в приймачах та передавачах, підбор частот гетеродинних коливальників.

- створення РЕЗ, які задовольняють вимогам ЕМС, впровадження заходів щодо ослаблення впливу ненавмисних завад на РЕЗ. Комплекс цих заходів спрямований на покращення вибору та обробки корисних сигналів.

Організаційні методи передбачають виконання чітких інструкцій та вимог керівних документів, тому можливості цих методів обмежені. В свою чергу, конструктивне вдосконалення РЕЗ можливе постійно (відповідно до розвитку науки, технологій та конкретних умов використання РЕЗ). Застосування цих методів дозволить підвищити ефективність РЕЗ.

Розглянемо причини виникнення неосновних випромінювань і каналів прийому для випадку, коли РЕЗ, які створюють завади, розташовані в дальній зоні і завади потрапляють в приймач РЕЗ через антенну систему.

До неосновних випромінювань відносяться [4, 5]:

- випромінювання передавачів на частотах поза необхідною смугою випромінювань;

- випромінювання гетеродинів приймачів та інших джерел високочастотних коливальників.

Неосновні випромінювання передавачів поділяють на позасмугові та побічні.

Позасмугові – це випромінювання на частотах, які примикають до спектру інформаційного сигналу. Вони є результатом модуляції несучої частоти. Всі інші неосновні випромінювання відносяться до побічних. Вони не пов'язані з процесами модуляції і включають в свій склад випромінювання на гармоніках, комбінаційні, паразитні, інтермодуляційні і шумові, випромінювання гетеродинів і інших генераторів високочастотних коливальників.

Поява позасмугових випромінювань викли-

кана тим, що кінцевий в часі сигнал має нескінченну ширину спектра. При обмеженні спектра випромінюваного сигналу виникають спотворення. Допустимий рівень спотворень визначає необхідну ширину смуги випромінювання (ШСВ). Для покращення ЕМС займана ШСВ повинна бути мінімальною, а для отримання найменших спотворень – максимальною. Це протиріччя вирішується шляхом використання спеціальних видів модуляції і форм модульованих сигналів. Наприклад, для імпульсних сигналів важливо правильно обрати їх форму. Зкруглення форми імпульсів дозволяє істотно зменшити рівень позасмугових випромінювань.

Якщо під тривалістю імпульсу  $\tau$  розуміти проміжок часу, в якому зосереджено 99 % енергії, а під ШСВ – частотний інтервал, якій містить 99 % енергії, то при однаковому значенні  $\tau$  імпульси різної форми матимуть різну ШСВ  $F_e$  [4]. Для прямокутного імпульсу ШСВ найбільша і дорівнює  $20/\tau$ , для косинусоїдального імпульсу вона становить  $2,5/\tau$ .

Розглянемо методику розрахунку ШСВ на прикладі перспективного з точки зору ЕМС імпульсу дзвіноподібної форми. Для цього сигнал представимо у вигляді комплексного коливання

$$a(t) = A \exp(-\beta^2 t^2),$$

де  $A$  – комплексна амплітуда, коефіцієнт  $\beta$  визначає форму імпульсу,  $t$  – тривалість імпульсу.

Спектр цього імпульсу визначається виразом

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} a(t) \exp(-j\omega t) dt = \frac{\sqrt{\pi}}{\beta} A \exp\left(\frac{-\omega^2}{4\beta^2}\right).$$

Оскільки

$$\int_{-F_e/2}^{F_e/2} (S(j2\pi f))^2 df = 0,99 \int_{-\infty}^{\infty} (S(j2\pi f))^2 df,$$

тоді, ШСВ становить

$$F_e = 1,16\beta. \quad (1)$$

Також, тривалість імпульсу можна визначити з рівняння

$$\int_{-T_e/2}^{T_e/2} a^2(t) dt = 0,99 \int_{-\infty}^{\infty} a^2(t) dt,$$

звідси

$$T_e = 2,58\beta. \quad (2)$$

Вирішуючи спільно рівняння (1) і (2), остаточно знаходимо, що

$$F_e \approx 3T_e.$$

Отже, змінюючи форму імпульсу, можна мінімізувати значення  $F_e$ . У радіозасобах мінімальна ШСВ забезпечується відповідним кодуванням інформаційного сигналу і спеціальними видами модуляції.

Коротко розглянемо основні причини виникнення побічних випромінювань.

По-перше, це випромінювання на гармоніках. Вони відбуваються на частотах, ої кратні робочим частотам передавача. Їхня поява пов'язана з нелінійними спотвореннями сигналу, якій випромінюється. Для зменшення рівня гармонік застосовують фільтри (рис. 1 елем. 10, 13, 15), які розташовують безпосередньо перед антенною системою [4, 5].

Виникнення паразитних коливань обумовлено виконанням умов самозбудження (балансу фаз і балансу амплітуд) на частотах, відмінних від несучої частоти сигналу. Ці випромінювання є результатом помилок в конструкції або порушень режиму роботи електронних схем.

Комбінаційні випромінювання виникають в наслідок взаємодії сигналів (частот), які беруть участь у формуванні робочої частоти. Найбільш характерні комбінаційні випромінювання для передавача, робоча частота якого утворюється з дискретної кількості частот шляхом множення, ділення та додавання частот опорних генераторів (рис. 1 елем. 7–9). Зменшення рівня комбінаційних випромінювань забезпечується правильним вибором сітки частот.

Інтермодуляційне випромінювання виникає внаслідок попадання через антену сигналів від сусідніх передавачів. Зменшити інтермодуляційні випромінювання можливо шляхом застосування спеціальних пристроїв узгодження, розв'язуючих пристроїв (рис. 1 елем. 11, 12, 14) і екрануванням. Також можливо послабити їх вплив на приймальний тракт радіостанції шляхом підбору нелінійних елементів з оптимальними характеристиками для вхідних ланцюгів тракту і оптимізації смуги пропускання вхідного ланцюга (рис. 1 елем. 1 – 5).

Шумове випромінювання створює модуляція несучої частоти шумом, який виникає в каскадах передавача за рахунок дробового ефекту. Спектр шумового випромінювання теоретично необмежений, хоча рівень дуже малий. Тому в смузі основного випромінювання шумове випромінювання практично не впливає на корис-

ний сигнал. Однак, поза смугою основного випромінювання шумові випромінювання можуть здійснювати помітний вплив на приймальні пристрої, які знаходяться в безпосередній близькості. Їх (шумові випромінювання) можливо зменшити шляхом покращення вибіркової каскадів тракту, а також правильно встановивши режими роботи каскадів.

До неосновних випромінювань можна віднести випромінювання гетеродинів приймачів, електронних обчислювальних пристроїв, а також інших генераторів високочастотних коливань. Основні методи боротьби з ними – екранування і застосування фільтрів в ланцюгах живлення.

Канали прийому, як і канали передачі (ви-

промінювання), діляться на основні і неосновні. Наявність неосновних каналів прийому обумовлена неідеальністю частотних характеристик фільтрів, наявністю нелінійностей в тракці прийому, а також особливостями роботи супергетеродинних приймачів. За аналогією з каналами випромінювання, неосновні канали прийому поділяються на позасмугові і побічні.

До позасмугових каналів прийому відноситься смуга частот, яка безпосередньо примикає до спектру корисного сигналу. Проходження завад в цій смузі частот пов'язане з неідеальністю частотних характеристик вибіркового фільтрів перед демодулятором (рис. 1, елем. 1, 3, 4).

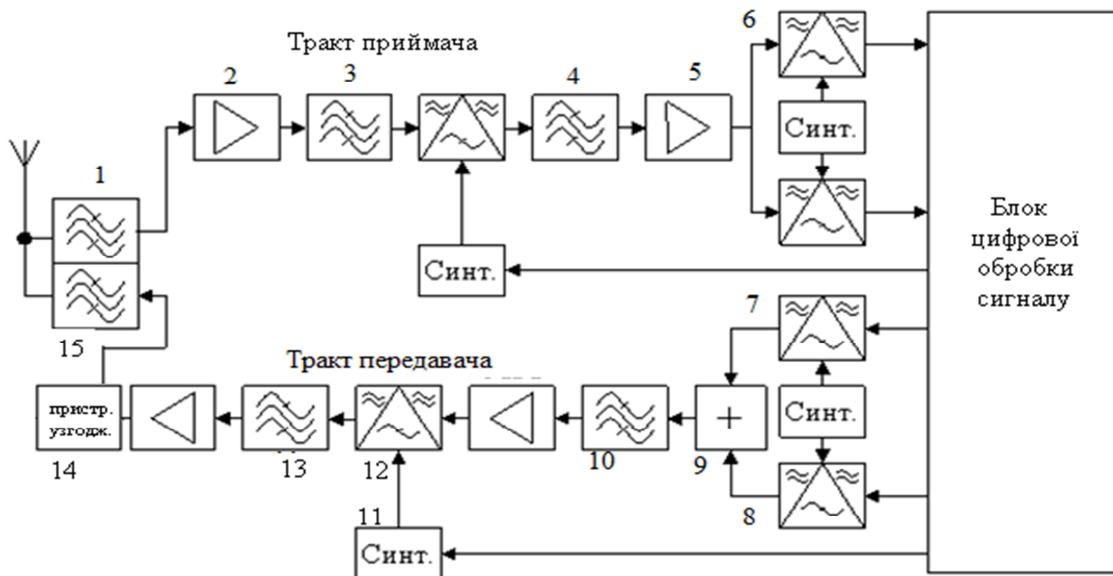


Рисунок 1 – Варіант структурної схеми цифрової радіостанції

Реальний приймач містить підсилювачі і перемножувач з обмеженим динамічним діапазоном (рис. 1, елем. 2, 5, 6). Тому не можна допустити, щоб на їх вході діяла завада в необмеженому частотному діапазоні (з необмеженою потужністю). Перешкоди з рівнем, що більший за динамічний діапазон приймача, впливаючи разом з корисним сигналом на нелінійності приймального тракту та призводять до зменшення відношення сигнал-шум.

Побічні канали прийому з'являються в результаті перетворення частот в супергетеродинному приймачі. Як відомо, проміжна частота  $f_{np}$ , утворюється у відповідності з одним із наступних співвідношень частот гетеродина  $f_z$  і сигналу:

$$f_{np} : f_{np} = f_c - f_z, f_{np} = f_z - f_c, f_{np} = f_z + f_c.$$

Наприклад, якщо проміжна частота, утворю-

ється відповідно до співвідношення  $f_{np} = f_c - f_z$ , то два інших співвідношення визначають дзеркальні канали побічного прийому.

Для ослаблення дзеркальної перешкоди на вході перетворювача додають вибіркового (смуговий) фільтр, а також використовують спеціальні схеми перетворювачів.

Крім дзеркального каналу, можливий прийом завад на проміжній частоті, а також на комбінаційних частотах  $f_{np} = \pm mf_c \pm nf_z$ .

Заходами, які дозволяють зменшити завади на побічних каналах, є висока вибірковість фільтрів до першого нелінійного елемента і раціональний вибір проміжної частоти (рис. 1, елем. 1, 3, 4).

Таким чином, аналізуючи причини виникнення і характер впливу завад, можна стверджувати, що основними методами забезпечення (покращення) ЕМС слід вважати: технічний (конструктивне вдосконалення апаратури) та органі-



заційний (правильна експлуатація) [7]. При цьому, максимального ефекту щодо забезпечення ЕМС можливо досягнути лише комплексно використовуючи перераховані методи.

#### Висновки

Електромагнітна сумісність забезпечується технічними та організаційними методами [2-6]. Розглянуті технічні заходи були в основному спрямовані на забезпечення частотної вибіркової сигналу. На ЕМС також помітно впливає просторова і часова вибірковість сигналів, просторове рознесення приймальних та передавальних антен. Часова вибірковість забезпечується синхронізацією роботи станцій мережі, що дозволяє зменшити число одночасно працюючих передавачів. Застосування направлених антен дозволяє зменшити не тільки рівень сигналу, що створює заваду, а й випромінюваного корисного сигналу, що в свою чергу знижує загальний рівень завод. Але суттєвого результату щодо забезпечення ЕМС РЕЗ, розташованих на локальному об'єкті можливо досягнути лише за рахунок конструктивного вдосконалення антенних систем [7].

**Напрямок подальших досліджень.** Напрямо подальшого дослідження є розробка методики забезпечення ЕМС РЕЗ розміщених на локальному об'єкті з науково обґрунтованими технічними рішеннями.

#### Список використаних джерел

1. Телеком военная связь. – Київ, 04.2017. – С. 4; 8, 45, 49. – С. 84–89.
2. Кечиев Л. Н. Зарубежные военные стандарты в области ЭМС / Л. Н. Кечиев, Н. В. Балюк. – М.: Грифон, 2014 – 448 с.
3. Акбашев Б. Б. Защита объектов телекоммуникаций от электромагнитных воздействий / Б. Б. Акбашев, Н. В. Балюк, Л. Н. Кечиев. – М.: Грифон, 2014. – 472 с.
4. Радиотехнические системы передачи информации: Учебное пособие для вузов / Под ред. В. В. Калмыков – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
5. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: Учебное пособие / Под ред. Ю. Е. Седельникова – Казань: ООО «Новое знание», 2016. – 344 с.
6. П. А. Николаев. Электромагнитная совместимость автотранспортных средств / Николаев П. А., Кечиев Л. Н. / Под ред. Л. Н. Кечиева – М.: Грифон, 2015. – 424 с.
7. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория / Под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: ЗАО «МАКВИС», 1998. – 828 с.: ил. библи. 539 назв.

*Надійшла до редакції 13.11.2017*

**Рецензент:** д.т.н., професор Скачков В. В., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

**В. В. Кузавков, д.т.н., А. О. Зарубенко, О. Г. Янковский, к.т.н.**

#### МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ЛОКАЛЬНОМ ОБЪЕКТЕ

*Рассматривается метод собственного излучения для определения технического состояния радиоэлектронных блоков. Данный метод позволяет проводить измерение диагностических параметров путем регистрации электромагнитного поля в инфракрасном диапазоне волн, которое возникает при подаче на радиоэлектронный блок тестового воздействия.*

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, радиоэлектронные средства, неосновные излучения, каналы приема, излучение, гетеродин, приемник, передатчик, конструктивное усовершенствование, правильная эксплуатация, ширина полосы излучения.

**Kuzavkov V. V., DSc, Zarubenko A. O., Yankovskii O. H., PhD**

#### METHODS OF PROVIDING OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF RADIOELECTRONIC MEANS LOCATED ON A LOCAL OBJECT

*The method of intrinsic radiation for determining the technical state of radioelectronic units is considered. This method makes it possible to measure the diagnostic parameters by recording an electromagnetic field in the infrared wave-range, which occurs when a test influence is applied to an electronic unit.*

**Keywords:** electromagnetic compatibility, radioelectronic facilities, minor radiation, reception channels, radiation, heterodyne, receiver, transmitter, constructive improvement, proper operation, radiation bandwidth.