

УДК 621.391.82

С. В. ЛАЗАРЕНКО, канд. техн. наук,
Державний університет телекомунікацій, Київ

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ РАДІОМОВНОЇ СЛУЖБИ ДЛЯ ЧАСТОТНИХ ПРИСВОЄНЬ

Розглянуто поняття електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних засобів (РЕЗ). Визначено актуальність проведення аналізу ЕМС РЕЗ радіомовної служби радіозв'язку. Зазначено етапи проведення аналізу ЕМС РЕЗ радіомовної служби радіозв'язку. Наведено принцип територіального і частотного добору потенційних джерел завад. Надані сценарії завадової взаємодії РЕЗ радіомовної служби (дуельні, або парні, групові та комплексні групові). Наведено перелік технічних характеристик обладнання та антен РЕЗ радіомовної служби, які надаються під час оформлення заяви на присвоєння частот для аналогового (цифрового) телевізійного мовлення та аналогового звукового радіомовлення. Подано критерій оцінки забезпечення ЕМС РЕЗ та етапи розрахунку ЕМС РЕЗ радіомовної служби.

Ключові слова: аналіз; електромагнітна сумісність; радіоелектронні засоби; радіомовна служба; завади; частотне присвоєння; групові сценарії; комплексні сценарії; напруженість поля.

Вступ

Електромагнітна сумісність — здатність радіоелектронних засобів і випромінювальних пристроїв одночасно функціонувати з необхідною якістю в реальних умовах експлуатації (з урахуванням впливу неавтисних радіозавад), не створюючи при цьому неприпустимих радіозавад іншим радіоелектронним засобам.

Здійснення аналізу електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних засобів (РЕЗ) особливо актуальне при проведенні розрахунку частотних присвоєнь.

Проблему ЕМС РЕЗ можна розв'язувати за допомогою відповідного комплексу технічних і організаційних заходів.

Технічні заходи, загалом кажучи, мають на меті послаблення (подавлення) навмисних електромагнітних завад (НЕМЗ) у джерелах їх виникнення (середовища поширення), а також захист різних пристроїв від впливу таких завад. Реалізація зазначених заходів сприяє вдосконаленню технічних параметрів радіоелектронних, електронних і електротехнічних пристроїв, а отже, і забезпеченню їх ЕМС.

Організаційні заходи включають у себе розподіл радіочастот по відповідних службах, вибір і призначення частот, установлення частотно-просторового рознесення між РЕЗ, визначення місцезнаходження РЕЗ та інші заходи, пов'язані з правильним урахуванням технічних параметрів різних засобів, що мають вплив на забезпечення ЕМС.

Застосування в господарстві країни технічних пристроїв із незадовільними характеристиками, що погіршують ЕМС, не тільки призводить до порушень нормальної роботи багатьох радіоелектронних і електронних засобів, завдаючи економічних збитків, а й істотно ускладнює, навіть унеможливорює користування ресурсом радіоканалів для нових засобів, що вводяться в експлуатацію. Навпаки, застосування засобів із більш досконалішими характеристиками ЕМС дозволяє інтенсивніше користуватися наявним ресурсом радіоканалів, тобто на одній і тій самій ділянці діапазону експлуатувати більшу кількість засобів без їхніх взаємних завад.

Викладені далі пропозиції стосуються підходів до аналізу сценаріїв виникнення завад і здійснення розрахунків параметрів ЕМС РЕЗ радіомовної служби у смугах частот загального користування.

Насамперед зазначимо, що **радіозавадою** називають електромагнітне випромінювання будь-якого походження, котре перешкоджає прийому радіосигналів. У цьому зв'язку постає таке важливе поняття, як **припустила завада** — електромагнітна завада, під час впливу якої на приймач іншого РЕЗ якість функціонування останнього зберігається на заданому рівні.

Що ж до телевізійного мовлення, то для нього використовуються п'ять діапазонів частот:

- **діапазон I** — смуга частот 48,5...66 МГц;
- **діапазон II** — смуга частот 76...100 МГц;
- **діапазон III** — смуга частот 174...230 МГц;
- **діапазон IV** — смуга частот 470...582 МГц;
- **діапазон V** — смуга частот 582...862 МГц.

Прийом сигналів на портативне устаткування поділяється на два класи:

- **клас А** (поза приміщенням) — це прийом, при якому портативний приймач із приєднаною або вбудованою антеною використовується на висоті не менш як 1,5 м над рівнем землі;
- **клас В** (на першому поверсі приміщення) — це прийом, при якому портативний приймач із приєднаною або вбудованою антеною використовується всередині приміщення, що має вікно в зовнішній стіні на висоті не менш як 1,5 м над рівнем підлоги. При розрахунках напруженості

поля для поверхів, вищих від першого, та цього класу прийому враховується поправка на «етажність».

На роботу РЕЗ радіомовної служби впливають:

- **небажане радіовипромінювання** — випромінювання радіоелектронного засобу або його складових, не призначене для передавання, приймання або навмисного спотворення сигналу;
- **ненавмисні завади** — радіозавади, створювані джерелом штучного походження, які не призначено для порушення функціонування радіоелектронних засобів;
- **паразитне радіовипромінювання** — побічне радіовипромінювання, що виникає внаслідок самозбудження радіопередавача через паразитні зв'язки в його генераторних і підсилювальних каскадах.

Окрім того, під час роботи РЕЗ існує **побічне випромінювання**, тобто випромінювання на частоті або частотах, що перебувають за межами необхідної смуги частот і рівень яких може бути знижений без жодних втрат для передавання інформації. До побічного випромінювання належить випромінювання на гармоніках, паразитне випромінювання, продукти інтермодуляції та перетворення частоти тощо.

Може йтися про завдання із забезпечення ЕМС на трьох рівнях радіоелектронних і електронних засобів. **Перший рівень** — забезпечення ЕМС між системами, наприклад радіомовної служби радіозв'язку, космічного радіозв'язку, **другий рівень** — забезпечення ЕМС усередині складного радіоелектронного комплексу, наприклад повітряного апарата, і **третій рівень** — забезпечення ЕМС усередині блоків (приладів) між їхніми вузлами і компонентами, скажімо, усередині блока передавача або ЕОМ.

До **теоретичних аспектів** завдання із забезпечення ЕМС належать **аналіз, прогнозування та розрахунки ЕМС засобів** на всіх зазначених рівнях. Це, наприклад, методи аналітичного визначення частотно-просторових рознесення між засобами конкретної радіослужби, методи теоретичного аналізу прогнозованих НЕМЗ усередині складного радіоелектронного комплексу або між вузлами блока (приладу) і методи інженерного розрахунку ефективності пристрою завадоподавлення. Такі аспекти в багатьох випадках підкріплено програмами розв'язань за допомогою ЕОМ.

Методи та способи забезпечення ЕМС пов'язані також і з розробкою (реалізацією) різної нормативно-технічної документації (НТД), зокрема стандартної, яка має важливе значення для галузі ЕМС, регламентуючи вимоги до організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення ЕМС.

Зміст і складові аналізу ЕМС РЕЗ радіомовної служби при здійсненні частотних присвоєнь

Аналіз ЕМС РЕЗ радіомовної служби здійснюється за процедурою, яка складається з шести послідовних етапів:

1) попереднє оцінювання електромагнітної обстановки (ЕМО) у районі планування нового частотного присвоєння;

2) попереднє визначення рівня якості, який має бути забезпечений при функціонуванні поодиноких РЕЗ або сукупності РЕЗ у розглядуваній ЕМО;

3) визначення сценаріїв задоволюваної взаємодії РЕЗ у районі планування нового частотного присвоєння;

4) визначення характеристик РЕЗ, необхідних для проведення розрахунків ЕМС РЕЗ;

5) розрахунок ЕМС РЕЗ згідно з визначеними сценаріями задоволюваної взаємодії;

6) оцінювання забезпечення ЕМС РЕЗ за результатами проведених розрахунків.

Попереднє оцінювання електромагнітної обстановки в районі планування нового частотного присвоєння виконують, здійснюючи *територіальний і частотний відбір* потенційних джерел завад.

Територіальний відбір потенційних джерел завад здійснюється на підставі визначення конфігурації та радіуса зони частотного відбору для досліджуваної станції та її побудови. Визначення параметрів зони відбору безпосередньо виконує експерт відповідно до положень Рекомендацій сектору радіозв'язку МСЕ та спеціальних міжнародних угод. При розрахунках ЕМС РЕЗ радіомовної служби радіус зони відбору зазвичай беруть такий, що дорівнює 500...800 км (для СХ-ДХ діапазону його значення становить 5-10 тис. км), із центром у точці встановлення опори передавальної антени РЕЗ радіомовлення, для якого здійснюють планування нового присвоєння.

Частотний відбір конфліктуючих РЕЗ здійснюється за допомогою ідентифікації та селекції діючих і статусних присвоєнь, а також планованих виділень у побудованій зоні відбору. При частотному відборі конфліктуючих РЕЗ ураховуються всі можливі види завад, канали їх проникнення та негативні явища, які можуть призвести до погіршення якості прийому програм від планованої станції або діючих радіомовних/телевізійних станцій. Виконуючи частотний відбір потенційно конфліктуючих РЕЗ, використовують частотні критерії безпеки завад.

Усі РЕЗ із діючими (і/або статусними) присвоєннями і/або планованими виділеннями, які потрапили у простір, обмежений контуром зони відбору, та задовольняють умови частотних критеріїв безпеки, вважаються небезпечними щодо створення завад і обираються для подальшого аналізу ЕМС.

За результатами попереднього оцінювання завадової обстановки формується впорядкована вибірка РЕЗ — потенційних джерел завад у зоні відбору, для якої здійснюватимуться подальші розрахунки показників ЕМС.

Попереднє визначення рівня якості, який має бути забезпечений у процесі функціонування поодиноких РЕЗ або сукупності РЕЗ, здійснюється на підставі базових вимог щодо якості функціонування РЕЗ з урахуванням технічних характеристик РЕЗ та ЕМО в районі планування нового частотного присвоєння. У разі потреби визначаються допуски на погіршення показників якості функціонування РЕЗ (якості зв'язку) через можливий вплив завад, які створюються іншими РЕЗ, що потрапили в зону відбору.

При визначенні показників якості функціонування РЕЗ радіомовної служби радіозв'язку необхідно користуватися такими положеннями Рекомендацій сектору радіозв'язку МСЕ-Р, як SM.1135. Коди SINPO і SINPFEMO, BT.500. Методика суб'єктивної оцінки якості телевізійного зображення.

Визначення сценарію задоволюваної взаємодії для РЕЗ, які потрапили в зону відбору, здійснюється за результатами попереднього оцінювання завадової обстановки.

Сценарії задоволюваної взаємодії РЕЗ радіомовної служби поділяються на *дуельні (парні), групові та комплексні групові*. У дуельних сценаріях досліджується вплив одного джерела завади на один приймач. У групових сценаріях досліджується вплив сукупності джерел завад на один приймач. При аналізі комплексних групових сценаріїв оцінюють вплив сукупності взаємозв'язаних джерел завад на приймачі (характерно для сценаріїв за участю РЕЗ цифрового мовлення при визначенні впливу РЕЗ однієї мережі на РЕЗ іншої мережі).

Вибір типу досліджуваного сценарію здійснюється з урахуванням умов розгортання, характеристик спрямованості антен, територіального рознесення та просторової орієнтації планованого РЕЗ і діючих РЕЗ.

Розрізняють *дуельні, групові та комплексні сценарії* двох типів:

1) «ЗАВАДИ НАМ», де досліджується вплив усіх діючих РЕЗ, що потрапили в зону відбору, на приймачі, котрі обслуговуються станцією, для якої здійснюється планування нового частотного присвоєння;

2) «ЗАВАДИ ВІД НАС», де досліджується вплив планованої станції на приймачі, що потрапили в зону відбору і обслуговуються діючими станціями радіомовної служби, які перебувають у межах зони відбору.

Технічні характеристики планованого РЕЗ, які використовуються при розрахунках ЕМС РЕЗ, заявник подає при оформленні заяви про видачу

висновку щодо ЕМС РЕЗ телевізійного і звукового мовлення радіомовної служби за встановленими зразками (Т-2, ЦТ-2, Р-2 тощо), затвердженими Рішеннями Національної комісії з питань регулювання зв'язку України. Заява надсилається безпосередньо до Державного підприємства «Український державний центр радіочастот» (УДЦР) або філії УДЦР у відповідній області України.

При оформленні заяви заявник подає наведені далі технічні характеристики обладнання і антен РЕЗ радіомовної служби.

А. Для РЕЗ аналогового телевізійного мовлення (відповідно до форми Т-2):

- 1) адреса;
- 2) географічні координати місця встановлення антенної опори;
- 3) тип РЕЗ;
- 4) телевізійний канал — номер каналу;
- 5) потужність передавача — звук і відео, кВт;
- 6) стандарт/система;
- 7) клас випромінювання — звук і відео;
- 8) зміщення носійної частоти (ЗНЧ), кГц;
- 9) рівень побічних випромінювань, мВт;
- 10) відхилення радіочастоти, Гц;
- 11) радіотехнологія;
- 12) висота встановлення антени над рівнем землі, м;
- 13) висота основи антенної опори над рівнем моря, м;
- 14) поляризація антени (горизонтальна, вертикальна, мішана);
- 15) довжина фідера, м, і втрати у фідері, дБ/м;
- 16) напрямленість антени (спрямована, не спрямована);
- 17) азимут максимального випромінювання, ... °;
- 18) коефіцієнт підсилення передавальної антени за різними азимутальними напрямками;
- 19) характеристики суматора потужностей (за наявності);
- 20) максимальна ефективна випромінювана потужність, дБВт;
- 21) час роботи передавача;
- 22) позивний.

Б. Для РЕЗ цифрового телевізійного мовлення (відповідно до форми ЦТ-2) — позиції 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 14, 15, 16, 18 і 20, визначені у п. А) і додатково:

- номер контура/номер РЕЗ у синхронній мережі;
- радіотехнологія;
- варіант системи/кількість носійних/захисний інтервал;
- тип маски каналного фільтра, втрати у фільтрі, дБ;
- тип прийому;
- стандарт компресії;
- погонне загасання у фідері, дБ/м.

В. Для РЕЗ аналогового звукового радіомовлення (відповідно до форми Р-2) — усі позиції, визначені у п. А), окрім позицій 4 і 8.

Зазначені характеристики РЕЗ можна знайти в стандартах на відповідний тип обладнання.

У разі потреби додатково визначаються такі параметри:

- мінімальна використовувана напруженість поля;
- захисні відношення;
- кути закриття передавальних і приймальних антен рельєфом місцевості;
- ефективна висота, ступінь нерівності і кут просвіту місцевості за різними азимутальними напрямками відносно точки встановлення антенної опори планованої станції.

При визначенні числових значень характеристик РЕЗ радіомовної служби враховують положення Рекомендацій МСЕ Р ВТ.419. Спрямованість і поляризаційна вибірковість антен для прийому телевізійного мовлення, МСЕ-Р ВТ.470. Стандарти системи аналогового телебачення, МСЕ-Р ВТ.1368. Критерії планування для послуг наземного цифрового телебачення в діапазонах ДВЧ/УВЧ та інших документів.

У розрахунках ЕМС РЕЗ також враховують тип сценарію завадової взаємодії, види завад, канали можливого проникнення завад, які визначаються при частотному відборі конфліктуєчих РЕЗ. Забезпечення ЕМС РЕЗ оцінюють, перевіряючи виконання умови сумісності РЕЗ за таким єдиним критерієм:

$$E_{\text{зав}} > E_{\text{мін}},$$

де $E_{\text{зав}}$ — напруженість поля завад; $E_{\text{мін}}$ — мінімальна використовувана напруженість поля.

Якщо для конкретного досліджуваного сценарію зазначена умова не виконується, то наявні завади вважаються неприпустимими, а умови ЕМС такими, що не забезпечуються.

Порядок розрахунку ЕМС РЕЗ радіомовної служби

У процесі аналізу ЕМС РЕЗ радіомовної служби здійснюють почерговий розрахунок рівнів завад між усіма станціями, відібраними за територіальною і частотною ознаками. При цьому насамперед здійснюють розрахунки для дуельних сценаріїв «ЗАВАДИ ВІД НАС», а далі — розрахунки для дуельних сценаріїв «ЗАВАДИ НАМ».

Для проведення аналізу групових сценаріїв використовують результати розрахунків, здобуті для дуельних сценаріїв, здійснюючи відбір і сортування найбільш небезпечних завад та виконуючи розрахунки сумарного рівня завад, створюваних досліджуваному РЕЗ.

При аналізі ЕМС РЕЗ аналогового радіомовлення проводять дослідження дуельних і групових сценаріїв між усіма РЕЗ, що потрапили в зону відбору.

У процесі моніторингу ЕМС РЕЗ цифрового радіомовлення додатково досліджують групові та комплексні групові сценарії для таких випадків:

а) сукупний вплив усіх станцій, що входять до складу мережі, на досліджуваний приймач;

б) вплив досліджуваної станції на приймач іншої мережі;

в) сукупний вплив станцій однієї мережі на приймачі іншої мережі.

При розрахунках необхідно враховувати, що для **цифрового наземного телебачення DVB-T** визначено чотири види еталонних мереж (ЕМ):

1) ЕМ1 — одночастотна мережа з великою зоною обслуговування;

2) ЕМ2 — одночастотна мережа з малими зонами обслуговування;

3) ЕМ3 — одночастотна мережа з малими зонами обслуговування для умов міста;

4) ЕМ4 — напівзакрита одночастотна мережа з малими зонами обслуговування, а також три еталонні конфігурації планування (ЕКП):

1) ЕКП 1 — конфігурація для фіксованого прийому;

2) ЕКП 2 — конфігурація для прийому на портативне обладнання зовні приміщення або для прийому на портативне обладнання всередині приміщення з нижчою якістю покриття або для рухомого прийому;

3) ЕКП 3 — конфігурація для прийому на портативне обладнання всередині приміщення з вищою якістю покриття.

Для **цифрового наземного звукового радіомовлення T-DAV** визначено два види еталонних мереж (ЕМ):

1) ЕМ5 — для ЕКП 4;

2) ЕМ6 — для ЕКП 5;

а також дві еталонні конфігурації планування:

1) ЕКП 4 — конфігурація для рухомого прийому;

2) ЕКП 5 — конфігурація для прийому на портативне обладнання всередині приміщення.

Характеристики ЕКП і ЕМ визначено в Регіональній угоді «Женева-06» стосовно планування цифрової наземної радіомовної служби в Районі 1 (частина Району 1, розташованих на захід від меридіана 170° сх. д. і на північ від паралелі 40° півд. ш., за винятком території Монголії) та в Ісламській Республіці Іран у смугах частот 174...230 і 470...862 МГц.

Безпосередньо перед проведенням розрахунків зазначені в заяві характеристики планованого РЕЗ вводять у базу даних, на підставі чого перевіряють доступність для планування заявленого:

а) каналу;

б) частотного блока;

в) частоти;

г) смуги радіочастот.

Критерієм їхньої доступності є належність до діапазонів частот служби радіомовлення в Регламенті радіозв'язку і Національній таблиці розподілу смуг радіочастот України, а також наявність

виділених смуг частот у Плані використання радіочастотного ресурсу України для заявлених РЕЗ радіомовлення.

У разі отримання негативних результатів перевірки вважають, що частотне присвоєння не може бути здійснене і заявка не обробляється (заявникові буде відмовлено).

За даними географічних характеристик щодо місцезнаходження планованого РЕЗ за електронною картою перевіряють точність координат фактичного місця розташування антенної опори планованої станції. Критерієм перевірки точності зазначених географічних координат є їх відповідність заявленій адресі і реєстру опор. Для перевірки географічних координат використовується тривимірна система координат для позиціонування на Землі — WGS84 (*World Geodetic System 1984*).

У разі отримання позитивних результатів перевірки переходять до розрахунків ЕМС планованого і діючих РЕЗ, що потрапили в зону відбору.

Для отримання більш точних результатів при прогнозуванні завад ураховують усі діючі присвоєння і виділення в межах зони відбору, а також усі можливі канали проникнення завад у приймачі. При цьому оцінюють:

а) для **РЕЗ телебачення**:

- вплив завад у суміжних каналах;
- вплив завад у суміжних каналах;
- вплив завад по дзеркальних каналах;
- вплив завад прийому телевізійних каналів від гетеродинів приймачів радіомовлення,

б) для **РЕЗ звукового мовлення**:

- вплив завад за дзеркальними частотами;
- вплив завад у суміжних частотах;
- вплив завад, які виникають через перекриття каналів телебачення та радіочастот звукового мовлення.

Окрім того, при проведенні розрахунків ЕМС **РЕЗ радіомовної служби** визначають такі параметри електромагнітної сумісності:

а) відстань між досліджуваною станцією і станцією, що їй заважає (для кожного з джерел завад окремо), та азимут відносно джерела завади;

б) напруженість поля завади $E_{зав_i}$ у відповідній точці на контурі зони обслуговування досліджуваної станції, приймачі якої вважаються рецепторами завад від діючих станцій, окремо для кожної зі станцій, що заважає (якщо необхідно, окремо для кожного зі значень зміщення носійної частоти передавача планованої станції). Для діючих станцій прогнозування завад здійснюється з урахуванням реальної зони впевненого прийому (зони обслуговування), а для планованої станції — теоретичної зони обслуговування, побудованої для мінімального медіанного значення напруженості поля E_{med} ;

в) результуюче значення A захисного відношення розглядуваної станції щодо джерела завад;

г) сумарну напруженість поля завод $E_{\Sigma_{зав}}$ від кількох джерел у відповідній точці на контурі зони обслуговування досліджуваної станції, приймачі якої вважаються рецепторами завод від діючих станцій;

д) E_{\min} — мінімальну використовувану напруженість поля;

е) $E_{\text{вик}}$ — використовувану напруженість поля;

є) R — радіус зони обслуговування планованої станції.

Розрахунок здійснюють окремо для кожного з визначених сценаріїв заводої взаємодії РЕЗ.

При прогнозуванні завод необхідно враховувати такі умови:

а) у діапазоні метрових хвиль прогнозування напруженості поля тропосферних завод для телебачення і монофонічного ДВЧ ЧМ мовлення здійснюють для частки $p = 10\%$ часу і частки $L = 50\%$ місць;

б) прогнозування напруженості поля тропосферних завод для стереофонічного ДВЧ ЧМ мовлення та телебачення в діапазоні дециметрових хвиль здійснюють для частки $p = 1\%$ часу і частки $L = 50\%$ місць;

в) для телебачення і ДВЧ ЧМ мовлення прогнозування напруженості поля постійно діючих завод здійснюють для значень частки $p = 50\%$ часу і частки $L = 50\%$ місць.

У свою чергу процедура розрахунку ЕМС РЕЗ радіомовної служби налічує чотири послідовні етапи:

1) аналіз дуельних сценаріїв «ЗАВАД ВІД НАС» діючим приймачам;

2) аналіз групових сценаріїв завод діючим приймачам;

3) аналіз дуельних сценаріїв типу «ЗАВАДИ НАМ»;

4) аналіз групових сценаріїв типу «ЗАВАДИ НАМ».

На першому етапі досліджують випадки можливого виникнення «ЗАВАД ВІД НАС» діючим приймачам, для чого, урахувавши результати територіального і частотного відбору потенційно конфліктуючих РЕЗ, формують впорядковану вибірку результатів розрахунків параметрів ЕМС за всіма дуельними сценаріями можливого виникнення завод між РЕЗ, що потрапили в зону відбору. Селекція і сортування завод в отриманій вибірці здійснюються за максимальним значенням $E_{зав_i}$.

На підставі аналізу отриманої вибірки визначаються потенційно небезпечні випадки виникнення завод у проаналізованих сценаріях. Ознакою небезпеки заводи вважається умова

$$E_{зав_i} > E_{\min}$$

Якщо у відповідному дуельному сценарії погіршення умов прийому через вплив завод не перевищує припустимого значення, рівень завод вважають прийнятним.

Якщо ця умова не виконується, то визначають можливість зміни технічних характеристик станції, для якої здійснюють планування нового присвоєння, після чого проводять повторний аналіз завод у рамках першого етапу.

У разі невиконання умов ЕМС для скоригованих характеристик станції вважають, що відповідне частотне присвоєння здійснити неможливо.

На другому етапі дослідження сценарію «ЗАВАДИ ВІД НАС» для завод зі сформованої раніше вибірки додатково проводять аналіз групових сценаріїв, в яких оцінюють вплив обраної сукупності (зазвичай найбільших за рівнем) завод на досліджуваний приймач для двох випадків:

а) без урахування планованої станції як джерела заводи;

б) з урахуванням планованої станції як джерела заводи.

Розрахунок сумарного рівня завод $E_{\Sigma_{зав}}$ здійснюють за методом додавання потужностей із кроком 10° за азимутальними напрямками точок на контурі зони обслуговування станції, приймачі якої вважаються рецепторами завод.

Якщо умови прийому в реальній зоні обслуговування досліджуваної станції для обох випадків істотно не різняться (припустима різниця визначається відповідно до положень Рекомендацій сектору радіозв'язку МСЕ або спеціальних міжнародних угод), то рівень завод вважають прийнятним. У протилежному випадку вважають, що умови ЕМС не виконуються. При цьому за потреби проводять повторний розрахунок ЕМС для скоригованих технічних характеристик планованої станції відповідно до описаної процедури. За отриманими результатами ухвалюють остаточне рішення щодо ЕМС досліджуваних РЕЗ.

Для оцінювання сукупного впливу джерел завод у сценаріях заводої взаємодії РЕЗ цифрового мовлення використовують процедуру, визначену положеннями таких спеціальних угод:

а) Регіональної угоди «Женева-06» стосовно планування цифрової наземної радіомовної служби в Районі 1 (частинах Району 1, розташованих на захід від меридіана 170° сх. д. і на північ від паралелі 40° півд. ш., за винятком території Монголії) та в Ісламській Республіці Іран у смугах частот 174...230 і 470...862 МГц;

б) Спеціальної угоди Європейської конференції адміністрацій пошт і зв'язку (СЕРТ) стосовно використання смуги частот 1452...1479,5 МГц для наземного цифрового радіомовлення (T DAB);

в) Спеціальної угоди «Маастрихт-02» стосовно використання смуг радіочастот 47...68; 87,5...108; 174...230 і 230...240 МГц для наземного цифрового радіомовлення (T-DAB).

На третьому етапі проводять аналіз дуельних сценаріїв типу «ЗАВАДИ НАМ» для сформованої вибірки потенційно небезпечних РЕЗ. Для цього

проводять розрахунки параметрів ЕМС окремо для кожної пари приймач — джерело завад для РЕЗ, що потрапили в зону відбору.

За результатами розрахунків здійснюють селекцію і ранжування потенційно небезпечних завад.

На четвертому етапі для обраних завад додатково проводять аналіз групових сценаріїв типу «ЗАВАДИ НАМ», за результатами якого здійснюють оцінювання можливого погіршення умов та зміни зони гарантованого прийому планованої станції через сукупний вплив кількох обраних джерел завад.

При цьому для оцінювання погіршення умов прийому будують контур теоретичної зони обслуговування планованої станції, точки якого визначають за допомогою розрахунку E_{med} (визначається згідно з Рекомендаціями МСЕ-Р або положеннями спеціальних угод) та обчислення радіуса зони по відповідних азимутальних напрямках, узятих із кроком 10° .

В окремих випадках параметри зони планованої станції визначаються за відомими значеннями E_{min} . Що ж до значень параметра E_{min} , то їх визначають згідно з умовами забезпечення належної якості прийому і подають, як правило, у табличній формі для фіксованих значень імовірності охоплення місць:

а) для цифрових систем мовлення, %:

95 — для фіксованого прийому (телебачення і звукове мовлення);

95 — для портативного прийому всередині і зовні приміщень (телебачення і звукове мовлення);

95 (для телебачення) і 99 (для звукового мовлення) — для прийому під час руху.

б) для аналогових систем мовлення, %:

50% — для телебачення і радіомовлення в разі будь-яких умов прийому.

Для побудованої теоретичної зони обслуговування планованої станції за результатами розрахунку сукупного впливу завад визначають параметри зони гарантованого прийому, в якій мають виконуватися вимоги якісного прийому.

Якщо за результатами розрахунку сукупного впливу обраних джерел завад на прийом у побудованій зоні обслуговування досліджуваної станції критичного погіршення умов високоякісного прийому не спостерігається і/або побудований контур зони планованої станції істотно не змінюється, вважається, що рівень завад прийнятний, а умови ЕМС РЕЗ такі, що виконуються. У протилежному випадку вважають, що здійснювати присвоєння недоцільно.

Для обчислення значення $E_{зав}$ напруженості поля завади (яка враховує відповідне захисне відношення) у визначеній точці на контурі зони обслуговування станції використовують таку формулу:

$$E_{зав} = E_{з_i} + A,$$

де $E_{з_i}$ — напруженість поля, що створюється передавачем i -ї станції джерела завади у визначеній точці.

При цьому значення $E_{з_i}$ розраховується за формулою, дБмкВ/м:

$$E_{з_i} = E(p\%, L\%) + P_{зав},$$

де $E(p\%, L\%)$ — значення напруженості поля;

$P_{зав}$ — ефективна випромінювана потужність (е.в.п) передавача станції — джерела завади.

Результуюче значення захисного відношення по кожній зі станцій, які заважають, визначається на основі положень Рекомендацій МСЕ-Р ВТ.655-7. Захисні відношення за частотою для телевізійних систем з АМ і частково подавленою бічною смугою, які зазнають завадового впливу від небажаних аналогових відеосигналів і сигналів їх звукового супроводження; ВТ.1368-8. Критерії планування для послуг цифрового наземного телебачення в діапазонах ДВЧ/УВЧ; ВТ.1660-3. Технічні основи для планування наземного цифрового звукового радіомовлення в діапазоні частот ДВЧ, а також спеціальних міжнародних угод.

Відповідно до положень Рекомендацій МСЕ-Р і спеціальних угод використовувану напруженість поля $E_{вик}$, яка враховує сумісний вплив кількох джерел на умови прийому в зоні обслуговування досліджуваної станції, розраховують поєднанням окремих значень $E_{зав_i}$ із додаванням так званого сумарного поправочного коефіцієнта місцеположень.

Сумарний рівень завад у визначеній точці на контурі зони обслуговування розраховують за формулою, дБ:

$$E_{\Sigma_{зав}} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{E_{зав_i} / 10} \right).$$

Ефективну потужність P випромінювання передавача станції — джерела корисного сигналу або завади розраховують за формулою, дБ:

$$P = P_{прд} + G - l_{\phi} \times k_l - L_{сум},$$

де $P_{прд}$ — потужність передавача на вході фідера, дБкВт;

G — коефіцієнт підсилення антени за потужністю відносно напівхвильового вібратора, дБ;

l_{ϕ} — довжина фідера, м;

k_l — коефіцієнт втрат у фідері на погонний метр, дБ/м;

$L_{сум}$ — втрати в суматорі (за його наявності), дБ.

Значення коефіцієнта втрат у фідері залежить від типу кабелю і робочої частоти і зазвичай публікується у специфікаціях на відповідний тип фідера.

Висновки

Визначено актуальність проведення аналізу ЕМС РЕЗ радіомовної служби радіозв'язку. Наведено принцип відбору потенційних джерел завад під час проведення аналізу ЕМС РЕЗ радіомовної служби радіозв'язку.

Розглянуто сценарії завадової взаємодії РЕЗ радіомовної служби радіозв'язку.

Наведено перелік технічних характеристик обладнання і антен РЕЗ радіомовної служби для аналогового (цифрового) телевізійного мовлення та аналогового звукового радіомовлення.

Подано критерій оцінювання забезпечення ЕМС РЕЗ та етапи розрахунку ЕМС РЕЗ радіомовної служби радіозв'язку.

Сформульовані пропозиції дозволяють проводити аналіз сценаріїв виникнення завад та здійснювати розрахунки параметрів ЕМС РЕЗ радіомовної служби радіозв'язку у смугах частот загального користування.

Запропонований аналіз доцільно використовувати під час присвоєння радіочастот для РЕЗ радіомовної служби радіозв'язку, а також під час практичних розрахунків та визначення умов ЕМС РЕЗ радіомовної служби радіозв'язку.

Література

1. Закон України Про радіочастотний ресурс України N 1770-III від 01.06.2000 [Електронний ресурс].— Режим доступу:

<http://zakon.nau.ua/doc/?code=1770-14>

2. Постанова Кабінету Міністрів України від 29.07.2009 N 785 Про затвердження Технічного регламенту з електромагнітної сумісності обладнання.

3. Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення від 02.12.2008 № 2151 Про затвердження Порядку розробки висновків щодо електромагнітної сумісності радіо-

електронних засобів мовлення, необхідних для створення та розвитку каналів мовлення, мереж мовлення та телемереж.

4. Седельников, Ю. Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: учеб. пособие / Ю. Е. Седельников.— Казань: ЗАО «Новое знание», 2006.— 304 с.

5. 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.

6. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем: учеб. пособие / Под ред. М. А. Быховского.— М.: Эко-Трендз, 2006.— 376 с.

7. Технічна колекція Schneider-Electric [Електронний ресурс].— ЕМС – Электромагнитная совместимость.— 2009.— Вып. 32.— Режим доступу: www.schneider-electric.com.ua.

8. МСЕ-Р ВТ.417. Мінімальна напруженість поля, захист якої може бути необхідним при плануванні послуг аналогового наземного телевізійного мовлення.

9. МСЕ-Р ВТ.470. Стандартні системи аналогового телебачення.

10. МСЕ-Р ВТ.500. Методика суб'єктивної оцінки якості телевізійного зображення.

11. ГОСТ 29037-91 (2004). Порядок проведення сертифікаційних випробувань на відповідність вимогам електромагнітної сумісності.

С. В. Лазаренко

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ РАДИОВЕЩАТЕЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ДЛЯ ЧАСТОТНЫХ ПРИСВОЕНИЙ

Рассмотрено понятие электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС). Определена актуальность проведения анализа ЭМС РЭС радиовещательной службы радиосвязи. Отмечены этапы проведения анализа ЭМС РЭС радиовещательной службы радиосвязи. Приведен принцип территориального и частотного отбора потенциальных источников помех. Определены сценарии помехового взаимодействия РЭС радиовещательной службы (дуэльные, или парные, групповые и комплексные групповые). Приведен перечень технических характеристик оборудования и антенн РЭС радиовещательной службы, которые предоставляются при оформлении заявления на присвоение частот для аналогового (цифрового) телевизионного вещания и аналогового звукового радиовещания. Приведен критерий оценки обеспечения ЭМС РЭС и охарактеризованы этапы расчета ЭМС РЭС радиовещательной службы.

Ключевые слова: анализ; электромагнитная совместимость; радиоэлектронные средства; радиовещательная служба; помехи; частотное присвоение; групповые сценарии; комплексные сценарии; напряженность поля.

S. V. Lazarenko

THE ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF RADIO ELECTRONIC FACILITIES (REFS) OF BROADCASTING SERVICES FOR FREQUENCY ASSIGNMENT

There were analysed the concept of electromagnetic compatibility (EMC) of radio electronic facilities (REFs). It was defined the actual importance of the performing of analysis of EMC REFs of radio communication broadcasting services. There were mentioned the stages of the performing of analysis of EMC REFs of radio communication broadcasting services. There were presented the principle of territorial and frequency selection of sources of potential sources of obstacles. There were given the scenarios of the obstacle interferences of REFs broadcasting services (duel (paired), group scenarios and complex group scenarios). There were listed the technical characteristics of the equipment and antennas of REFs of broadcasting services, which are given during the issuing of request for frequency assignment for analogue (digital) TV broadcasting and analogue sound (audio) radio broadcasting. There was given the criterion of the evaluation of the providing of EMC REFs and stages of the calculation of EMC REFs of the broadcasting services.

Keywords: the analysis; electromagnetic compatibility (EMC); radio electronic facilities (REFs); broadcasting service; the obstacles (barriers); frequency assignment; the group scenarios; complex (integrated) scenarios; field strength (field intensity).