

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ЗАСОБІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ЗА КРИТЕРІЄМ ДОПУСТИМОЇ ШИРИНИ СМУГ БЛОКУВАННЯ ВЗАЄМНИМИ ЗАВАДАМИ

У статті представлено основні положення методики аналітичної оцінки електромагнітної сумісності засобів радіозв'язку встановлених на локальному об'єкті за критерієм ширини смуг блокування взаємними радіозавадами на основі використання дослідно-теоретичного підходу.

Зарубенко А.О. Методика оценки электромагнитной совместимости средств радиосвязи по критерию допустимой ширины полос блокирования взаимными помехами. В статье представлены основные положения методики аналитической оценки электромагнитной совместимости средств радиосвязи установленных на локальном объекте по критерию ширины полос блокирования взаимными радиопомехами на основе использования опытно-теоретического подхода.

A. Zarubenko A method for assessing the electromagnetic compatibility of radio communications by the criterion of the permissible width of the blocking blocks by mutual interference. The article presents the main provisions of the methodology of analytical estimation of the electromagnetic compatibility of radio communication facilities installed on a local object by the criterion of the bandwidth of blocking by mutual radio interruptions on the basis of the use of experimental and theoretical approach.

Ключові слова: методика, електромагнітна сумісність, засоби радіозв'язку, оцінка електромагнітної сумісності, програмно-алгоритмічне забезпечення.

Постановка проблеми в загальному вигляді (актуальність).

На технічних (транспортних) засобах, оснащених різнотипними засобами радіозв'язку (ЗРЗ), утворюється складна електромагнітна обстановка (ЕМО), яка перешкоджає спільному ефективному функціонуванню засобів радіозв'язку. При цьому умови експлуатації засобів радіозв'язку характеризуються своїми особливостями. Одна з них полягає в складній конфігурації металевого конструктиву транспортних засобів (елементи кузову, що спотворюють характеристики приймальних і передавальних антен).

Вирішення задачі електромагнітної сумісності (ЕМС) ЗРЗ встановлених на локальному об'єкті (зразку озброєння) має починатися з етапу його проектування, при розробці або під час підбору відповідних засобів радіозв'язку з необхідними параметрами і триває протягом усього його життєвого циклу зразку озброєння. Однак, в реальних умовах існує проблема забезпечення спільного функціонування ЗРЗ різних виробників. Крім цього, у випадку модернізації на транспортних засобах (БТР, БМП, КШМ, КАЗ) заводом-виробником не передбачалася заміна штатних ЗРЗ, а при виготовленні радіостанцій не враховувалася можливість встановлення на відповідних транспортних засобах разом з іншими РЕЗ.

Специфікою системи зв'язку тактичної ланки є наявність значної кількості ЗРЗ, які займають суміжні діапазони радіочастот, при цьому чутливість радіоприймальних пристроїв достатньо висока, що накладає жорсткі обмеження на допустимі рівні можливих взаємних завад, створюваних сусідніми ЗРЗ. Все це ускладнює спільне функціонування ЗРЗ.

Аналіз останніх публікацій

Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів (РЕЗ) – здатність обладнання функціонувати належним чином у заданих електромагнітних обстановках, не створюючи неприпустимих електромагнітних завад іншому обладнанню [1]. Вирішення завдання аналізу (оцінки) ЕМС можливо детермінованим або статистичними методиками. Статистичним методикам присвячені роботи [2 – 12]. При цьому, для оцінки ЕМС задаються статистичний розподіл частоти, потужності випромінювань, координати місця знаходження, характеристики направленості антен та ін. По заданому статистичному розподілу параметрів ЗРЗ визначається електромагнітна обстановка (ЕМО) і проводиться оцінка впливу ЕМО на функціонування РЕЗ (ЗРЗ).

Статистичний підхід дозволяє визначити ймовірність виконання заданих критеріїв ЕМС ЗРЗ. Застосування статистичного підходу виправдано для значних за кількістю сукупностей ЗРЗ, розосереджених на великих територіях, а також для сукупності РЕЗ зі

складними процесами взаємодії. Наприклад, мережі стільникового мобільного зв'язку, функціонування яких описується випадковою кількістю, місцем розташування і часом працюючих мобільних станцій, процесами управління потужністю передачі мобільних станцій, випадковими процесами поширення радіохвиль в умовах міста та ін. Одним з відомих методів статистичної оцінки EMC є метод Монте-Карло [13, 14]. Даний метод реалізований у складі програм оцінки EMC SEAMCAT (Spectrum Engineering Advanced Monte-Carlo Analysis Tool) і застосовується для статистичної оцінки EMC мереж стільникового мобільного зв'язку.

Недоліком статистичного підходу є відсутність можливості проведення детальної оцінки EMC, визначення механізмів виникнення завад, визначення найбільш небезпечних випромінювань і найбільш уразливих каналів прийому, визначення ступеня небезпеки різних видів завад з урахуванням фактичних характеристик ЗРЗ (РЕЗ). У цьому сенсі альтернативним є детермінований підхід до оцінки EMC, якому присвячено багато наукових праць [15 – 26]. При детермінованому підході величини, які відображаються моделлю характеристики випромінювань передавача (ПРД), моделлю антенно-фідерного пристрою (АФП), моделлю середовища розповсюдження радіохвиль, моделлю характеристики вибіркості по каналах прийому приймача (ПРМ), а також процесами взаємодії ЗРЗ – є детермінованими. В ході оцінки EMC, здійснюється перебір пар ПРД – ПРМ і аналіз по кожній парі окремо. Вперше такий підхід був запропонований Д. Уайтом [22, 27]. Парна оцінка дозволяє оцінити вплив окремого ПРД та із сукупності ПРД вибрати ті з них, які створюють завади для ПРМ, та викликають ефект блокування [28].

Проведений аналіз дозволив виявити суттєві недоліки в існуючих методиках оцінки EMC та рекомендаціях МСЕ-R [2 – 43], серед яких:

- відсутність кількісних обґрунтувань при постановці вимог до EMC;
- обмеження оцінки EMC РЕЗ розміщених на локальному об'єкті, практична відсутність методів оцінки EMC;
- неповнота (за діапазоном частот, напрямам поширення завад), „ручний” і, як правило, емпіричний характер методів розрахунку завад;
- великий обсяг розрахунків графоаналітичним методом;
- жорстка прив'язка вимог забезпечення EMC до стандартів з узагальненими нормами, що відносяться до широких класів РЕЗ та не дозволяють здійснити об'єктивну оцінку;
- складність використання методів аналізу EMC і інтерпретації їх результатів конструкторами, системними проектувальниками.

Тому **метою статті** є розробка аналітичної методики оцінки електромагнітної сумісності ЗРЗ, встановлених на локальному об'єкті, за критерієм ширини смуги блокування взаємними завадами на основі дослідно-теоретичного підходу з можливістю використання програмно-алгоритмічного забезпечення.

Виклад основного матеріалу

При організації радіозв'язку в татичній ланці управління підрозділи зв'язку Збройних сил України використовують вертикальні поляризовані ненаправлені антени метрових і дециметрових хвиль. При цьому, число таких антен на одному транспортному шасі (мобільному пункті управління), може досягати 5 – 7 одиниць, при обмежених можливостях щодо їхнього розміщення. Частина з них не може бути розміщено вище надбудов транспортних засобів, але горизонтальна відстань між антенами і металевими елементами конструкцій завжди – незначна. Площа антенного поля не перевищує 6 – 8 м². З цієї причини діаграми направленості антен значно відрізняються від ідеальних [29].

Потрібно розуміти, в межах транспортного шасі (ближня зона), електромагнітне поле (ЕМП) остаточно не сформовано, що ускладнює можливість розрахунку взаємних впливів. Також додається те, що крім основного випромінювання радіопередавачів існують позасмугові і побічні випромінювання, побічні канали радіоприйому у приймальних пристроїв, які є рецепторами взаємних радіозавад.

Таким чином, актуальним є створення інженерної методики з розрахунку та оцінки взаємного електромагнітного впливу ЗРЗ, розташованих на локальному об'єкті, а також наукового обґрунтування технічних рішень щодо забезпечення умов електромагнітної сумісності. Вона має ґрунтуватися на експериментальних даних експлуатації ЗРЗ з можливістю автоматизація виконання розрахунків (великої кількості трудомістких розрахунків з заданою точністю) різних варіантів розміщення антенних пристроїв і аналізу основних залежностей від умов експлуатації.

Розроблена методика включає в себе: збір вихідних даних; частотний аналіз; енергетичний аналіз; розрахунок напруг, які наводяться на вході приймача; розрахунок ширини смуги радіочастот приймача, заблокованого завадами, в залежності від рівня наведених напруг; висновок щодо виконання вимог ЕМС.

Вихідні дані. До вихідних даних в запропонованій методиці віднесено:

- радіочастота випромінювання передавача (основна, позасмугова, на гармоніках, на субгармоніках, комбінаційна, інтермодуляційна, паразитна, шумова) – $f_{\text{прд}}$ (МГц);
- потужність передавального пристрою на розглянутій радіочастоті (для основних, бічних, задніх пелюстків діаграми направленості антени) – $P_{\text{прд}}$ (Вт);
- смуга частот радіопередавача $\Delta f_{\text{хрпрд}}$ на p -ій гармоніці (1-й, 2-й, ... 5-й) на рівні X дБ (– 3 дБ, – 30 дБ, – 60 дБ) (МГц);
- тип антенних систем передавального пристрою;
- геометричні розміри антенних систем передавального пристрою;
- вид поляризації випромінюваних електромагнітних хвиль;
- реактивний опір антени передавача $Z_{\text{вх}}$ (Ом);
- активний опір антени радіопередавача $R_{\text{вх}}$ (Ом);
- коефіцієнт підсилення антени радіопередавача $G_{\text{прд}}$ (рази);
- ширина діаграми направленості (вертикальна площина) передавальної антени $\Psi_{\text{прд}}$ (град);
- погонна ємність (вертикальної $C_{\text{вер}}$ і горизонтальної $C_{\text{гор}}$) частин антени передавача, Ф/м;
- тип кабелю антенно-фідерного тракту передавача (діелектрична проникність ізоляції ϵ , тангенс кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$, діаметр зовнішнього провідника (екрану) D (мм), діаметр внутрішнього провідника d (мм), довжина кабелю l (м));
- радіочастота хвиль, які приймаються приймальним пристроєм (основна, проміжна, дзеркальна, комбінаційна, на субгармоніках): $f_{\text{прм}}$ (МГц);
- проміжні частоти приймача $f_{\text{пч}}$ (МГц);
- частота (частоти) гетеродина приймача f_r (МГц);
- смуга пропускання підсилювача проміжної частоти $\Delta f_{\text{хпрм}}$ приймача на рівні X дБ (– 3 дБ, – 30 дБ, – 60 дБ) (МГц);
- чутливість приймача σ (мВ);
- реактивний опір антени приймача $Z_{\text{вх}}$ (Ом);
- активний опір антени приймача $R_{\text{вх}}$ (Ом);
- тип антени радіоприймального пристрою;
- геометричні розміри антенної системи приймального пристрою;
- вид поляризації хвиль, які приймаються прийомним пристроєм;
- коефіцієнт підсилення антени приймача $G_{\text{прм}}$ (рази);
- параметри апроксимації двохсигнальної частотної характеристики приймача з блокування Δf_0 (%), U_0 (В);
- ширина діаграми направленості (вертикальна площина) приймальної антени $\Psi_{\text{прм}}$ (град);
- тип кабелю для антенно-фідерного тракту приймача (діелектрична проникність ізоляції ϵ , тангенс кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$, діаметр зовнішнього провідника (екрану) D (мм), діаметр внутрішнього провідника d (мм), довжина кабелю l (м));

- кут між лініями географічної півночі та напрямку розрахунку в горизонтальній площині (β від 0° до 360° (град));
 - кут між лініями, які з'єднують розрахункову точку в просторі з кінцями вертикальної $\gamma_{\text{вер}}$ і горизонтальної $\gamma_{\text{гор}}$ частинами антени (град);
 - кут між віссю штиррової антени і лінією, яка з'єднує розрахункову точку в просторі і основу антени α (град);
 - спосіб встановлення взаємодіючих антен (на одному рівні, на різних рівнях);
 - відсоток „тіні” від перешкод взаємодіючих антен χ (%);
 - відстань між взаємодіючими антенами r (м).
- Послідовність оцінки (проведення аналізу) електромагнітної сумісності ЗРЗ встановлених на локальному об'єкті розглянута нижче.

Частотний аналіз

На даному етапі розраховуються можливі частотні канали впливу при взаємодії приймальних і передавальних пристроїв [20, 22, 25, 27, 30]. Спочатку розраховуємо частотні коефіцієнти зв'язку:

$$K_{\max} = \frac{f_{\max \text{ прд}}}{f_{\min \text{ прм}}}; K_{\min} = \frac{f_{\min \text{ прд}}}{f_{\max \text{ прм}}},$$

де K_{\max} , K_{\min} – частотні коефіцієнти зв'язку, $f_{\max \text{ прд}}$, $f_{\min \text{ прд}}$ – частоти випромінювання передавача, $f_{\max \text{ прм}}$, $f_{\min \text{ прм}}$ – частоти радіохвиль, що поступають на вхід приймача, при цьому: $K_{\max} > 1$; $1 < K_{\min} < 1,3$ – позасмугове випромінювання; $K_{\max} \geq 1$; $K_{\min} \leq 1$ – основне випромінювання; $0,7 < K_{\max} \geq 1$; $0,5 < K_{\min} \leq 1,3$ – позасмугове випромінювання; $K_{\max} \geq 0,5$; $K_{\min} < 0,5$ – друга гармоніка; $K_{\max} \geq 0,33$; $K_{\min} < 0,33$ – третя гармоніка; $K_{\max} \geq 0,25$; $K_{\min} < 0,25$ – четверта гармоніка; $K_{\max} \geq 0,2$; $K_{\min} < 0,2$ – п'ята гармоніка.

Для одноразового перетворення частот в радіоприймачах, при виконанні нерівності буде мати місце вплив:

$$\left| pf_{\text{прд}} - \frac{m}{n} f_{\text{прм}} - \nu f_{\text{пч}} \frac{n - \nu \zeta}{m} \right| - \frac{\Delta f_{X \text{ ппр}}(p) + \Delta f_{X \text{ ппр}}}{2} \leq 0,$$

де $p = 1, 2, 3, \dots, p_{\max}$ – порядковий номер гармоніки центральної частоти радіопередавача, $n = 0, 1, 2, \dots, n_{\max}$ – порядковий номер частот гетеродина; $m = 0, 1, 2, \dots, m_{\max}$ – порядковий номер побічного каналу; ν – ознака налаштування гетеродина радіоприймача (+1 – для верхнього налаштування, -1 – для нижнього налаштування); ζ – ознака дзеркального каналу радіоприймача (+1 – для верхнього налаштування, -1 – для нижнього налаштування);

$$n_{\max} = 10^{\frac{E-D}{C}}, P_{\max} = 10^{\frac{E-B}{A}};$$

$$E = \lg \left(\frac{P_{\text{прд}}}{\sigma} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} \left(\frac{3 \cdot 10^8}{4\pi f_{\text{прд}}} \right) \right)$$

Коефіцієнти обираються з таблиці 1.

Таблиця 1

Коефіцієнти для різних значень частоти

Робочі частоти, МГц	A	B	C	D
Менше 30 МГц	7,0	2,0	2,5	8,5
Від 30 до 300 МГц	8,0	3,0	3,5	8,5
Від 300 МГц до 3,3ГГц	6,0	4,0	4,0	6,0

Енергетичний аналіз.

На даному етапі розраховуються можливі рівні електромагнітних полів в заданій області [20, 22, 25, 27, 30]. У загальному випадку вираз для електричної складової напруженості електромагнітного поля дорівнює:

$$E = \mathfrak{Z}(C_A, Z_A) \mathfrak{R}(P_{\text{прд}}, R, f_{\text{прд}}) G_{\text{прд}}(f_{\text{прд}}, R) \xi_{\text{прд}} \eta_{\text{фпрд}}(l_{\text{прд}}, \varepsilon, \text{tg}(\delta), d, D, f_{\text{прд}}) K_3 K_\Gamma \sin \frac{\alpha}{2},$$

де $\mathfrak{Z}(C_A, Z_A)$ вираз, що залежить від погонних ємностей і вхідних опорів антени радіопередаючого пристрою;

$$\mathfrak{R}(P_{\text{прд}}, R, f_{\text{прд}}) = Q_1(P, f) R^{-6} + Q_2(P, f) R^{-5} + Q_3(P, f) R^{-4} + Q_4(P, f) R^{-3} + Q_5(P, f) R^{-2} + Q_6(P, f) R^{-1},$$

де $Q_1 - Q_6$ – коефіцієнти апроксимації полінома; R – відстань між антенною та аналізуємою точкою простору; P – потужність передавача; f – частота передавача,

$$G_{\text{прд}}(f_{\text{прд}}, R) = G_0 \left(0,7 + 0,3 e^{-0,6 \frac{\Delta f}{f_0}} \right) - 15 e^{-4 \frac{R}{R_{\text{дз}}}},$$

де G_0 – коефіцієнт антени передавача по технічним умовам; Δf – відхилення від номінальної частоти; $R_{\text{дз}}$ – межа дальньої зони для даної частоти;

$$\eta_{\text{фпрд}}(l_{\text{прд}}, \varepsilon, \text{tg}(\delta), d, D, f_{\text{прд}}) = e^{-2l(2,62 \cdot 10^3 \sqrt{E f (1+D/d)} / D \lg(D/d) + (9,1 \cdot 10^3 f \sqrt{E \text{tg}(\delta) g})},$$

де K_3 – коефіцієнт, що враховує затемнення перешкодами між взаємодіючими антенами; K_Γ – коефіцієнт, що враховує зменшення рівня сигналу на гармонічних складових.

Відповідно для кожного значення кута β (кут між лініями географічної півночі та напрямку розрахунку в горизонтальній площині (β – від 0° до 360°)):

$$E(\beta) = \mathfrak{Z}(C_A, Z_A) \mathfrak{R}(P_{\text{прд}}, R, f_{\text{прд}}) G_{\text{прд}}(f_{\text{прд}}, R) \xi_{\text{прд}} \eta_{\text{фпрд}}(l_{\text{прд}}, \varepsilon, \text{tg}(\delta), d, D, f_{\text{прд}}) K_3 K_\Gamma \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Рівень напруг, які буде наведено

На даному етапі розраховується рівень напруг які буде наведено на вході приймального пристрою, з врахуванням поширення сигналу по антенно-фідерному тракту [20, 22, 25, 27, 30]:

$$U = E \left(\frac{\lambda}{\pi} \right) \sqrt{G_{\text{прм}} R_A / 73,1} K_\Pi \eta_{\text{прм}}(l_{\text{прм}}, \varepsilon, \text{tg}(\delta), d, D, f_{\text{прм}}),$$

де χ – довжина хвилі приймаємих радіохвиль; K_Π – коефіцієнт, що враховує різну робочу поляризацію для взаємодіючих приймальної та передавальної антен;

$$\eta_{\text{фпрм}}(l_{\text{прм}}, \varepsilon, \text{tg}(\delta), d, D, f_{\text{прм}}) = e^{-2l(2,62 \cdot 10^3 \sqrt{E f (1+D/d)} / D \lg(D/d) + (9,1 \cdot 10^3 f \sqrt{E \text{tg}(\delta)})}.$$

Рівень напруг, які буде наведено на вході приймального пристрою для кожного значення $E(\beta)$:

$$U(\beta) = E \left(\frac{\lambda}{\pi} \right) \sqrt{G_{\text{прм}} R_A / 73,1} K_\Pi \eta_{\text{прм}}(l_{\text{прм}}, \varepsilon, \text{tg}(\delta), d, D, f_{\text{прм}}).$$

Ширина смуги блокування радіозавадами

На даному етапі розраховується ширина смуги радіочастот приймального пристрою, заблокована радіозавадами в результаті роботи радіопередаючого пристрою, в залежності від рівня наведеної напруги [20, 22, 25, 27, 30]:

$$\Delta f_{\text{бл}} = \pm \sqrt{-2 \Delta f_0^2 \ln \left(1 - \frac{U}{2U_0} \right)};$$

$$\Delta f_{\text{бл}}(\beta) = \pm \sqrt{-2 \Delta f_0^2 \ln \left(1 - \frac{U(\beta)}{2U_0} \right)}.$$

Висновок, щодо виконання вимог ЕМС

Висновок, щодо виконання вимог електромагнітної сумісності РЕЗ, здійснюється при оцінці відношення Δf до $\Delta f_{\text{бл}}$. У випадку $\Delta f / \Delta f_{\text{бл}} < 1$ ЕМС виконується, оскільки смуга

частот приймача більше ширини смуги блокування. Для випадків коли $\Delta f / \Delta f_{\text{бл}} \geq 1$ ЕМС не виконується.

На основі розробленої методики оцінки електромагнітної сумісності ЗРЗ був сформований алгоритм її програмної реалізації.

Блок-схема алгоритму реалізації запропонованої методики наведено на рис. 1.

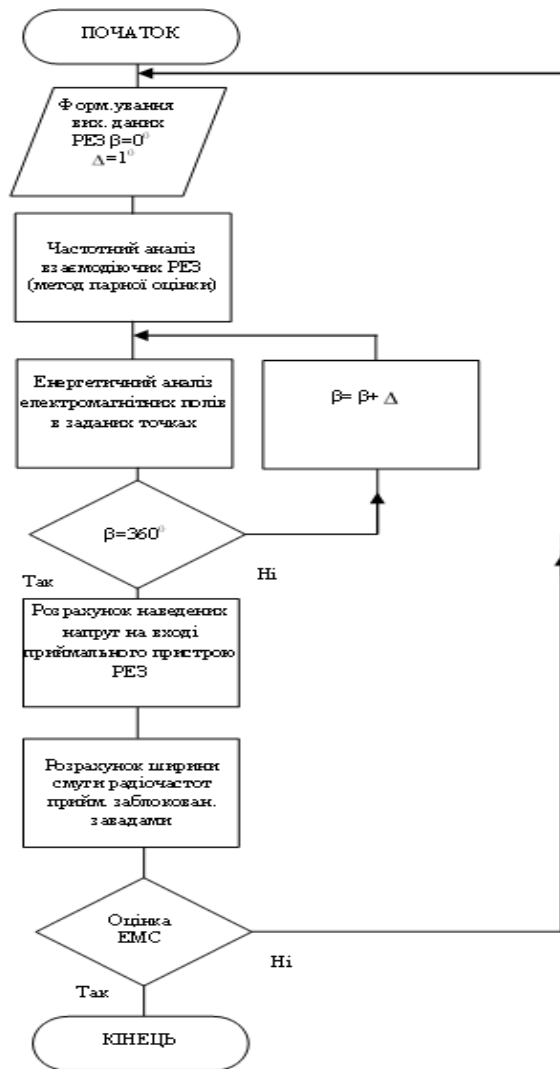


Рис. 1. Блок-схема алгоритму реалізації методики оцінки електромагнітної сумісності засобів радіозв'язку за критерієм ширини смуг блокування

Відповідно до наведеного алгоритму, була розроблена програма розрахунку взаємного впливу ЗРЗ (РЕЗ) при їх спільному функціонуванні на рухомих об'єктах (БТР, БМП, КШМ, КАЗ і т.д.). Розроблена програмно-алгоритмічна реалізація науково-технічної методики по оцінці електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів (засобів зв'язку) дозволяє здійснювати парну оцінку електромагнітної сумісності ЗРЗ (РЕЗ) при їх розташуванні в межах транспортного засобу (рухомого об'єкта) з наочним відображенням результатів у вигляді графіків з потрібними параметрами. Розроблені науково-методичне та програмно-алгоритмічне забезпечення оцінки ЕМС ЗРЗ дозволяє зменшити часові, фінансові та матеріальні витрати при проектуванні нових і модернізації існуючих апаратних (станцій) зв'язку при комплектуванні їх засобами радіозв'язку.

Висновки. Таким чином, запропонована методика оцінки ЕМС відповідає вимогам до адаптованості, простоти проведення інженерного розрахунку і аналізу. Крім того

запропонована методика не обмежується лише аналізом ЗРЗ (РЕЗ) локального об'єкта, а може бути використана і для оцінки ЕМС РЕЗ розміщених як на малих, так і на значних відстанях один від одного, що вказує на її універсальність.

Дана методика дозволяє провести розрахунки ЕМС РЕЗ в широкому діапазоні частот випромінювань і забезпечує аналіз ЕМС з урахуванням специфіки розміщення і функціонування РЕЗ.

Особливостями запропонованої методики є:

- одночасній розрахунок характеристик ЕМС в широкому діапазоні частот і для заданого числа РЕЗ;
- врахування відстаней між РЕЗ (їх антенами);
- врахування розмірів антен і можливу зміну їх орієнтації;
- врахування ближньої зони розповсюдження радіохвиль;
- врахування можливої зміни рівня корисного сигналу на вході приймача.

На відміну від методик та рекомендацій МСЕ-R, щодо оцінки ЕМС [30–43] запропонована методика враховує нерівномірності діаграми направленості антени ЗРЗ (РЕЗ), що є науковою новизною розробленої методики. При проведенні розрахунків (аналізі) ЕМС отримано масив даних (об'ємом $360^\circ/\Delta$) для $E(\beta)$ та $U(\beta)$. Рішення про виконання ЕМС перевіряється для кожного значення отриманого масиву.

Практична цінність методики полягає у доведенні аналітичних залежностей до програмно-реалізованих моделей, що дозволяє оперативно коригувати результати, з урахуванням уточнення вихідних даних і даних отриманих при вимірюваннях. Крім цього, при проведенні розрахунків, є можливість використовувати напруженість електромагнітного поля замість потужності, що дозволяє застосовувати результати безпосередньо для порівняння з нормами сприйнятливості.

Напрямом подальших досліджень є перевірка достовірності розробленої методики під час проведення натурального експерименту, щодо оцінки ЕМС ЗРЗ, розміщених на локальному об'єкті (в ближній зоні).

ЛІТЕРАТУРА

1. Технічний регламент з електромагнітної сумісності обладнання, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 29 липня 2009 р. № 785.
2. Альтер Л.Ш. Зони помех интермодуляции в сотовых системах радиосвязи / Л.Ш.Альтер // Радиотехника. – 2001. – № 4. – С. 37 – 39.
3. Аповорич А.Ф. Статистическая теория электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / А.Ф. Аповорич; под ред. В.Я. Аверьянова. – Мн.: Наука и техника. – 1984. – 215 с.
4. Аповорич А.Ф. Мощность непреднамеренных радиопомех и параметры структуры сотовых сетей связи / А.Ф. Аповорич, М.В. Берёзка // Успехи современной радиоэлектроники. – 2002. – № 1. – С. 44 – 48.
5. Журавлёва В.А. Методика расчёта вероятностных показателей электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств в условиях неопределённости их взаимного положения / В.А. Журавлёва А.В. Занозин, Т.А. Михайлова П.А. Сай // Радиотехника. – 2008. – № 7. – С. 90 – 93.
6. Занозин А.В. Методика расчёта вероятности электромагнитной совместимости мобильных и стационарных радиоэлектронных средств в условиях неопределённости их взаимного положения / А.В. Занозин Т.А. Михайлова // Радиосистемы. – 2001. – Вып. 51. – С. 71 – 75.
7. Методика расчета ЭМС основных типов (групп) РЭС систем СПС с другими типами (группами) РЭС гражданского применения, работающих в общих полосах частот в диапазонах 160 МГц, 450 МГц, 900 МГц и 2 ГГц (Решение ГКРЧ 05-05-03-001). НИИР. – М.: 2005. – 160 с.

8. Методика расчета ЭМС систем абонентского радиодоступа и беспроводной передачи данных с другими РЭС гражданского применения на территории Российской Федерации, работающих в общих полосах частот в диапазоне от 1 ГГц до 30 ГГц (Решение ГКРЧ 05-05-03-001). НИИР. – М.: 2005. – 206 с.
9. Методика расчета ЭМС РРЛ прямой видимости с наземными РЭС гражданского назначения в полосах частот выше 1 ГГц (Решение ГКРЧ 05-05-03001). НИИР – М.: 2005. – 191 с.
10. Перфилов О.Ю. Модель оценки вероятностно-временных показателей ЭМС систем подвижной радиосвязи / О.Ю. Перфилов Б.Г. Тележный // Электросвязь. – 2001. – № 9. – С. 9 – 10.
11. Скрынников В.Г. Оценка условий ЭМС при учёте особенностей радиоинтерфейса системы UMTS // T-Comm. – 2008. – № 2. – С. 42 – 45.
12. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Ю.А. Феоктистов В.В. Матасов, Л.И. Башурин В.И. Селезнёв; Под ред. Ю.А. Феоктистова. – М.: Радио и связь, 1988. – 216 с.
13. Сорокин А.С. Расчёт характеристик ЭМС систем радиосвязи, работающих в общих полосах частот: учеб. пособие. / А.С. Сорокин Г.И. Сорокин. – М.: Изд-во „МТУСИ”, 2007. – 43 с.
14. ERC Report 68. Monte Carlo Simulation Methodology. – ERC Naples, February 2000 revised in Regensburg, May 2001 and Bode, June 2002.
15. Буга Н.Н. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / Н.Н. Буга В.Я. Кантарович В.И. Носов. – М.: Радио и связь, 1993. – 240 с.
16. Виноградов Е.М. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: учеб. пособие / Е.М. Виноградов В.И. Винокуров, И.П. Харченко. – Л.: Судостроение, 1986. – 263 с.
17. Виноградов К.Е. Основные принципы анализа электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств используемые в автоматизированной системе проектирования сетей радиосвязи / К.Е. Виноградов, Н.И. Лашков // Проблемы повышения эффективности регулирования использования радиочастот и радиоэлектронных средств гражданского применения: тезисы докладов научнотехнической конференции, 27 – 30 марта 2002 г. – Ярославль, 2002. – С. 44 – 54.
18. Владимиров В.И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем / В.И. Владимиров, А.Л. Докторов, Ф.В. Елизаров и др.; под ред. Н.М. Царькова. – М.: Радио и связь, 1985. – 400 с.
19. Грошев, Г.А. Электромагнитная совместимость в группировке радиоэлектронных средств: учебное пособие / Г.А. Грошев. – Калининград: изд-во БГА РФ, 2001. – 80 с.
20. Грошев, Г.А. Метод и алгоритм анализа ЭМС в группировке РЭС / Г.А. Грошев // V Международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии ЭМС-2003: сб. трудов. – СПб.: изд-во СПб ГЭТУ ЛЭТИ, 2003. – С. 125 – 127.
21. Грошев, Г.А. Модели радиоприёмных устройств для анализа ЭМС РЭС. / Г.А. Грошев // VI международный симпозиум по ЭМС и ЭМЭ – 2005: сб. трудов. – СПб.: изд-во СПб ГЭТУ ЛЭТИ, 2005. – С. 214 – 217.
22. Дональд Р.Ж. Уайт. Электромагнитная совместимость и непреднамеренные помехи: пер. с англ. – Вып. 1 / Под ред. А.И. Сапгира. – М.: Сов. радио, 1977. – 352 с.
23. Ефанов В.И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем: учеб. пособие / В.И. Ефанов А.А. Тихомиров. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 228 с.
24. Князев А.Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / А.Д. Князев. – М.: Радио и связь, 1984. – 336 с.
25. Методика расчёта электромагнитной совместимости земных станций фиксированной спутниковой службы и радиорелейных станций фиксированной службы

гражданського назначення в полосах частот совместного использования от 1 ГГц до 40 ГГц (Решение ГКРЧ № 05-08-02-001). ЛОНИИР. – СПб.: 2005. –142 с.

26. Методика расчёта электромагнитной совместимости между радиоэлектронными средствами сетей беспроводного доступа и земными станциями фиксированной спутниковой службы гражданского применения в полосе частот 3400-4200 МГц (Решение ГКРЧ 05-05-03-001). НИИР. – М.: 2005. – 27 с.

27. Петровский В.И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств: учеб. пособие для радиотех. спец. вузов / В.И. Петровский, Ю.Е. Седельников. – М.: Радио и связь, 1986. – 216 с.

28. Кузавков В.В., Зарубенко А.О. Аналіз методів електромагнітної сумісності / Вісник Інженерної академії України, Вип. 2. – К.: 2017. – 169 – 174 с.

29. В.В. Кузавков, д.т.н., А.О. Зарубенко, О.Г. Янковський, к.т.н. Методи забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, розташованих на локальному об'єкті / Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості, Вип. 2. – Одеса.: 2017. – 65 – 71 с.

30. Методы расчета помех в наземных радиорелейных системах и системах фиксированной спутниковой службы. Отчет 388-5 МККР (Вопросы 32/4 и 23/9, Исследовательская программа 23А/9). –XVI Пленарная Ассамблея, Дубровник, 1986.

31. Рекомендация МСЭ-R P.370-7 (1995). VHF FND UHF PROPAGATION CURVES FOR THE FREQUENCY RANGE FROM 30 MHz TO 1000 MHz.

32. Рекомендация МСЭ-R P.526-10 (2007). Распространение волн за счет дифракции.

33. Рекомендация МСЭ-R P.452-15 (2013). Процедура прогнозирования для оценки микроволновых помех между станциями, находящимися на поверхности Земли, на частотах выше приблизительно 0,7 ГГц.

34. Рекомендация МСЭ-R P.341-5 (1999). Концепция потерь передачи для радиолиний.

35. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования наземных систем прямой видимости. Отчет МККР 338-6. Женева: – 1990.

36. Рекомендация МСЭ-R P.530-12 (2007). Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования наземных систем, работающих в пределах прямой видимости.

37. Рекомендация МСЭ-F.555. Допустимые шумы в гипотетической эталонной цепи телевизионной радиорелейной системы.

38. Рекомендация МСЭ-P SF.766. Методика определения влияния помех на качество и готовность наземных радиорелейных систем и систем фиксированной спутниковой службы.

39. Рекомендация МСЭ-T J. 11 (ex. CMTT 502). HYPOTHETICAL REFERENCE CIRCUITS FOR SOUND PROGRAMME TRANSMISSIONS. Terrestrial systems and systems in the fixed satellite service.

40. Рекомендация МСЭ-R F.634-4 (1997) Показатели качества по ошибкам для реальных цифровых радиорелейных линий, составляющих часть цепи высокого качества в цифровой сети с интеграцией служб.

41. Рекомендация МСЭ-R P.525-2 (1994). Расчет ослабления в свободном пространстве.

42. Рекомендация МСЭ-R P.310-9 (1994). DEFINITIONS OF TERMS RELATING TO PROPAGATION IN NON-IONIZED MEDIA.

43. Рекомендация МСЭ-P F.1245-2 (2012). MATHEMATICAL MODEL OF AVERAGE RADIATION PATTERNS FOR LINE-OF-SIGHT POINT-TO-POINT RADIO RELAY SYSTEM ANTENNAS FOR USE IN CERTAIN COORDINATION STUDIES AND INTERFERENCE ASSESSEMENT IN THE FREQUENCY RANGE FROM 1 TO ABOUT 40 GHz.