

УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ МНОЖИННОЇ ВЗАЄМОДІЇ УГРУПУВАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ПОВІТРЯНОЇ РАДІОНАВІГАЦІЙНОЇ СЛУЖБИ В УМОВАХ ВИПРОМІНЮВАННЯ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ РАДІОТЕХНОЛОГІЇ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ У СМУЗІ ЧАСТОТ 790-862 МГц

У статті розглядається удосконалення моделі множинної взаємодії угруповань радіоелектронних засобів (РЕЗ) повітряної радіонавігаційної служби і РЕЗ мобільного зв'язку четвертого покоління (LTE) на міжсистемному рівні на основі аналізу особливостей функціонування військової техніки повітряної радіонавігаційної служби та виникаючих при цьому електромагнітних взаємодій з базовими станціями та абонентськими терміналами радіотехнології LTE у смузі частот 790-862 МГц. Наведено математичний апарат обчислення множинних взаємодій РЕЗ радіотехнології LTE з військовою технікою повітряної радіонавігаційної служби на основі застосування типових елементарних областей взаємодії різної форми.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, модель множинної взаємодії, радіонавігаційна служба.

Вступ

Постановка проблеми. Особливістю сучасного етапу розвитку національної інформаційної інфраструктури, побудованої на використанні систем стільникового зв'язку, є впровадження новітніх технологій (системи рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління (LTE)), а також суттєве збільшення радіочастотного спектру для потреб мобільних телекомунікаційних мереж, використання цими мережами нових діапазонів частот, які раніше використовувалися спеціальними користувачами (державні відомчі служби).

Впровадження в Україні систем мобільного зв'язку четвертого покоління LTE вимагає забезпечення необхідної якості роботи РЕЗ повітряної радіонавігаційної служби (ПРНС) Повітряних Сил, що потребує розробки заходів забезпечення ЕМС зазначеної системи з угрупованнями військової техніки ПРНС у смузі частот 790-862 МГц.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз взаємодії угруповання військової техніки повітряної радіонавігаційної служби в умовах дії мережі рухомого зв'язку технології LTE показав, що методи аналізу ЕМС та моделі взаємодії між РЕЗ спеціальних та загальних користувачів досліджено у роботах [1–7; 12], але на даний час не визначено математичної моделі множинних взаємодій ЕМС між РЕЗ ПРНС та РЕЗ мобільного зв'язку стандарту LTE у смузі частот 790...862 МГц в умовах випадкової та постійно змінної структури системи мобільного зв'язку четвертого покоління. Крім того, при побудові моделі міжсистемної взаємодії не враховано особливості впливу передавачів РЕЗ стандарту LTE, які застосовують широкополосні складові сигнали, на приймальні пристрої РЕЗ ПРНС Повітряних Сил Збройних Сил України.

Напрямки розвитку військової техніки ПРНС та системи радіотехнічного забезпечення польотів авіації Повітряних Сил Збройних Сил України не передбачають у середньостроковій перспективі зміну частотних діапазонів функціонування [8; 11]. Використання радіочастотного ресурсу України РЕЗ спеціальних та загальних користувачів регламентується Національною таблицею розподілу смуг радіочастот України [9] та Планом використання радіочастотного ресурсу України [10].

При сумісному використанні смуги радіочастот мережами мобільного зв'язку четвертого покоління та засобами ПРНС, як правило враховується вплив випромінювання базових станцій мобільного зв'язку на засоби спеціальних користувачів. Для цього використовується метод аналізу ЕМС, який передбачає застосування парної (дуельної) або групової оцінки ЕМС РЕЗ, при цьому місця розташування базових станцій та РЕЗ ПРНС мають детермінований характер. Але мережа стільникового зв'язку має і рухому складову (абонентські термінали), при цьому параметри корисних та завадових сигналів, а також параметри приймальних пристроїв і якість функціонування РЕЗ ПРНС мають випадковий характер, що потребує проведення наукових досліджень щодо удосконалення моделей міжсистемної множинної взаємодії РЕЗ ПРНС та LTE.

Мета статті – дослідження визначення напрямку удосконалення моделі множинної взаємодії угруповань РЕЗ спеціальних і загальних користувачів при аналізі електромагнітної обстановки (ЕМО) на основі аналізу особливостей функціонування військової техніки повітряної радіонавігаційної служби та виникаючих при цьому електромагнітних взаємодій з базовими станціями та абонентськими терміналами радіотехнології LTE у смузі частот 790-862 МГц в

умовах випадкової та постійно змінної структури системи мобільного зв'язку четвертого покоління.

Задача із дослідження захисних критеріїв в угрупованнях РЕЗ спеціальних і загальних користувачів на міжсистемному рівні на основі подальшого розвитку узагальнених моделей електромагнітних множинних взаємодій та удосконалення методу аналізу ЕМС на підставі застосування принципів декомпозиції та суперпозиції широкопasmового складового радіочастотного спектру випромінювання цифрових систем передачі інформації є актуальною та результати її вирішення дозволять проводити розрахунково-експериментальну оцінку сигнально-завадової обстановки існуючих та перспективних РЕЗ, що надасть можливість забезпечення стійкого та безперервного управління повітряним рухом Повітряних Сил Збройних Сил України, беззавадової експлуатації систем навігації та засобів навігаційного обслуговування і управління повітряним рухом, забезпечення їхньої точності, цілісності, надійності та експлуатаційної готовності.

Виклад основного матеріалу

Методи аналізу електромагнітної сумісності РЕЗ можна поділити за ознакою наявних відомостей про досліджувані РЕЗ (координати розташування, технічні характеристики, умови поширення радіохвиль, особливості місцевості, характер взаємодії тощо) на детерміновані, імовірнісні та поєднання цих двох ознак: імовірісно-детерміновані.

При удосконаленні методів аналізу міжсистемної ЕМС за умови забезпечення обороноздатності держави і безперервного виконання Збройними Силами завдань за призначенням визначаються межі застосування методів аналізу та прогнозування ЕМС за критерієм ефективного використання радіочастотного ресурсу України.

Метод аналізу ЕМС в угрупованнях РЕЗ ПРНС відносно передавачів системи мобільного зв'язку четвертого покоління складається (рис. 1) з моделей множинних електромагнітних взаємодій РЕЗ, моделей розташування елементів мереж стандарту LTE, методів розрахунку взаємних відстаней, методів розрахунку та визначення послаблення сигналів та завад, методів розрахунку потужностей сигналів та завад у зоні досліджень сигнально-завадової обстановки (СЗО), методів оцінки ЕМС за обраним критерієм.

Моделі множинних електромагнітних взаємодій РЕЗ включають:

– моделі динамічного та фазового станів угруповань РЕЗ загальних та спеціальних користувачів, які визначають поведінку нелінійної динамічної системи та які мають три основних процеси функціонування угруповання РЕЗ: розподілення, використання та відновлення ресурсів угруповання РЕЗ у сталому стані;

– динамічної моделі опису процесу взаємодії РЕЗ в угрупованнях, яка складається з електромагнітних взаємних зв'язків між РЕЗ та матриці ступеню цих взаємних зв'язків.



Рис. 1. Метод аналізу міжсистемної ЕМС угруповання РЕЗ ПРНС та РЕЗ LTE

Стосовно моделей розташування РЕЗ спеціальних користувачів та елементів мереж LTE зазначимо, що розміщення базових станцій (БС) LTE, РЕЗ ПРНС характеризується детермінованою моделлю, а розміщення у просторі абонентських терміналів LTE та бортових РЕЗ ПРНС описується ймовірнісною моделлю.

Під час оцінки міжсистемної ЕМС РЕЗ виникає необхідність побудови ЕМО, яка має імовірний характер та розраховується із застосуванням різних моделей прийнятно-передавальних пристроїв та середовища розповсюдження радіохвиль.

Методи розрахунку взаємних відстаней РЕЗ побудовані на використанні:

стосовно детермінованих моделей розташування РЕЗ – класичні вирази обчислення взаємних відстаней РЕЗ з відомими координатами;

стосовно ймовірнісних моделей розташування РЕЗ – типове елементарне представлення області розміщення груп РЕЗ у зоні досліджень ЕМС у вигляді деяких форм простору (прямокутник, трикутник, трапеція, сектор кола, частина кільця тощо) з невизначеним місцеположенням РЕЗ та визначенням відстаней до вершин цих областей [6].

Методи розрахунку потужностей сигналів та завад у зоні досліджень сигнально-завадової обстановки базуються: на основному рівнянні радіозв'язку (рівнянні передачі) для РЕЗ зв'язку; радіоте-

хнічних систем з активною відповіддю; на основному рівнянні радіолокації для РЕЗ радіолокації; на використанні стохастичних моделей об'єднання сигналів від різних джерел, що характеризуються випадково-детермінованою структурою і розраховуються відповідно до законів електродинаміки.

$$P_{\text{пр}}(r_i, 0) = \frac{P_{\text{пер}} G_{\text{пер}} G_{\text{пр}} \eta_{\text{пер}} \eta_{\text{пр}} g_{\text{пер}}(\alpha_{\text{пер}}) g_{\text{пр}}(\alpha_{\text{пр}}) k_{\Pi}}{16\pi^2} \left(\frac{0,3}{f} \right)^2 \left(\frac{V^2(F_i(r_i), q)}{F_i(r_i)^2} \right), \quad (1)$$

де $P_{\text{пер}}$ – потужність передавача; G – коефіцієнт посилення антени; η – коефіцієнт корисної дії (ККД) фідера; $g(\alpha)$ – діаграма спрямованості антени (ДСА); α – кут напрямку випромінювання або завади щодо осі ДСА; k_{Π} – коефіцієнт поляризаційної захисту; f – робоча частота; r_i – відстань між і-тим передавачем загальних користувачів та приймачем РЕЗ ПРНС; $V(F_i(r_i))$ – множник ослаблення; $F_i(r_i)$ – функція розподілу відстані; q – відсоток часу, в якому визначається неприпустима дія завад для РЕЗ ПРНС.

Вплив завади у виразі (1) має детермінований характер, так як складається з постійних параметрів. Параметр $V^2(F_i(r_i))$ є змінною величиною і веде себе як функція відстані від РЕЗ спеціальних користувачів до точки, яка є іншим РЕЗ, в межах області розміщення Ω з заданою рівномірною щільністю розподілу $\rho_{\Omega} = \frac{1}{S_{\Omega}}$ (S_{Ω} – площа території розміщення Ω), змінюється динамічно, і тому має імовірнісний характер.

Сутність запропонованої моделі полягає в типовому елементарному поданні області розміщення РЕЗ з невизначеним місцем розташування у вигляді типових форм (смуга частот 791-821 МГц): трапецеїдальної $\Omega_{\text{ТР}}$ (взаємодії інструментальних систем посадки (посадочних радіомаякових груп (ПРМГ)) та БС мережі зв'язку стандарту LTE), яка в даному випадку є областю розміщення $\Omega_{\text{СК}}$, кільця $\Omega_{\text{К}}$ (взаємодії систем ближньої навігації та БС мережі зв'язку стандарту LTE), які наведені на рис. 2.

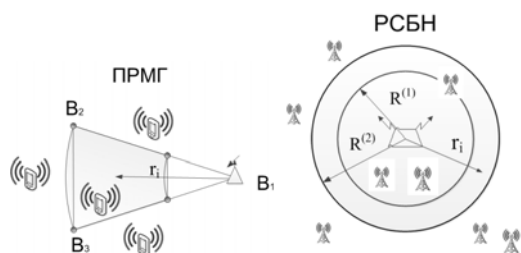


Рис. 2. Елементарні області взаємодії РЕЗ LTE з ПРМГ та РСБН.

Потужність завади, яку може створювати РЕЗ загальних користувачів з невизначеним місцем розташування на вході приймача РЕЗ спеціальних користувачів визначається з використанням рівняння радіозв'язку (1):

У смузі частот 832-862 МГц типовими формами є: сектор кільця $\Omega_{\text{СК}}$ (взаємодії радіолокаційних систем посадки та абонентських терміналів мережі зв'язку стандарту LTE) та коло $\Omega_{\text{О}}$ при взаємодії літакових відповідачів (СО), радіовисотомірів (РВ) повітряних суден і абонентських терміналів мережі зв'язку стандарту LTE, які наведені на рис. 3.

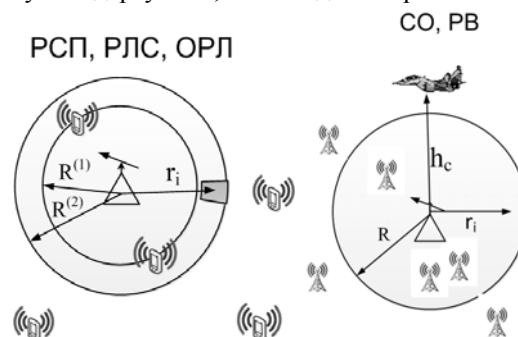


Рис. 3. Елементарні області взаємодії РЕЗ LTE з РСП, РЛС, ОРЛ та СО, РВ

Для кожної області $\Omega = \{\Omega_{\text{ТР}}, \Omega_{\text{К}}, \Omega_{\text{СК}}, \Omega_{\text{О}}\}$ визначається функція розподілу відстані $F_i(r_i)$.

Закон розподілу відстані r_i розраховується інтегруванням щільності розподілу за областю перетину області розміщення РЕЗ з невизначеним місцеположенням та області D_i радіусом r_i і-го стаціонарного РЕЗ угруповання РЕЗ ПРНС з центром в точці розміщення (x_i, y_i) - $F_i(r_i) = \rho_{\Omega} \int_{D_i(r_i)} dx dy$ [8].

Функція розподілу відстані $F_i(r_i)$ для області $\Omega_{\text{К}}$ з центром у точці (x_0, y_0) , з малим та великим радіусами $R^{(1)}, R^{(2)}$ знаходиться за допомогою наступного виразу (2):

$$F_i(r_i) = \sum_{s=1}^2 (c_s F_{K_s}(r_i)) / S_{\Omega_K}, \quad (2)$$

де $R^{(1)}$ – малий радіус кільця;

$R^{(2)}$ – великий радіус кільця;

$$\text{межа } \min r_i = \begin{cases} 0, (x_i, y_i) \in \Omega_K, \\ d, d > R^{(2)}, \max r_i = d > R^{(2)}; \\ R^{(1)}, d \leq R^{(1)}, \end{cases}$$

d – відстань від i -го стаціонарного РЕЗ угруповання ПРНС до j -го РЕЗ з невизначеним місцеположенням, визначається згідно виразу $d = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$ [8];

c_s – параметр розміщення: $c_s = \begin{cases} -1, s = 1, \\ 1, s = 2; \end{cases}$

s – кількість кілець.

При цьому функція $F_{K_s}(r_i)$:

$$F_{K_s}(r_i) = \begin{cases} 0, & 0 \leq r_i \leq \min r_i; \\ S_{R_2} - S_{R_1}, & R^{(1)} < r_i < R^{(2)}; \\ 1, & r_i \geq R^{(2)}. \end{cases} \quad (3)$$

Визначається площа області розміщення у вигляді кільця $S_K = \pi R_2^2 - \pi R_1^2$.

Функція розподілу відстані $F_i(r_i)$ для області Ω_{CK} з центром в точці складає:

$$F_{CK_s}(r_i) = \begin{cases} 0, & 0 \leq r_i \leq \min r_i; \\ S_{CK}, & R^{(1)} < r_i < R^{(2)}; \\ 1, & r_i \geq R^{(2)}. \end{cases} \quad (4)$$

При цьому площа області розміщення у вигляді сектора кільця дорівнює:

$$S_{CK} = \frac{\pi R_2^2 - \pi R_1^2}{360} \gamma, \quad \gamma = 1, 2, \dots, 360^\circ.$$

Функція розподілу відстані $F_i(r_i)$ для області Ω_0 має вигляд:

$$F_0(r_i) = \begin{cases} 0, & 0 \leq r_i \leq \min r_i, \\ 1, & r_i \geq R; \end{cases} \quad (5)$$

межа $\min r_i = \begin{cases} 0, (x_i, y_i) \in \Omega_0; \\ d, d > R, \max r_i = d > R. \end{cases}$

Площа області розміщення у вигляді круга дорівнює $S_0 = \pi R^2$.

Висновки

Удосконалення моделі міжсистемних множинних взаємодій угруповання військової техніки повітряної радіонавігаційної служби та радіоелектронних засобів мережі рухомого зв'язку технології LTE на основі застосування динамічної моделі опису процесу взаємодії РЕЗ дозволяє визначити відстані між РЕЗ ПРНС та РЕЗ мобільного зв'язку четвертого покоління, якщо їх розташування має випадковий характер на основі застосування типових елементарних областей взаємодії РЕЗ LTE з угрупованням військової техніки повітряної радіонавігаційної служби. Отримані відстані між РЕЗ ПРНС та РЕЗ мобільного зв'язку четвертого покоління дозволяють обґрунтувати захисні критерії військової техніки ПРНС (частотні або/та територіальні обмеження на встановлення базових станцій технології LTE) на основі розрахованих норм частотно-територіального рознесення між військовою технікою ПРНС та РЕЗ мережі технології LTE.

Розроблений метод аналізу міжсистемної ЕМС РЕЗ LTE з військовою технікою ПРНС у смузі частот 792-860 МГц на основі удосконалення моделі міжсистемних електромагнітних множинних взаємодій та на підставі застосування принципів декомпозиції та суперпозиції широкосмугового складового радіочастотного спектру випромінювання цифрових систем передачі інформації дозволить обмежити вплив РЕЗ рухомого зв'язку технології LTE, що впроваджується в Україні, на радіоелектронні системи і засоби військової техніки Повітряних Сил, що виконують завдання навігації й управління повітряним рухом.

Список літератури

1. Методика проведення розрахунків електромагнітної сумісності та норми частотно-територіального рознесення радіоелектронних засобів у смугах радіочастот, які підлягають конверсії (1920-1935/2110-2125, 1950-1965/2140-2155, 1965-1980/2155-2170), а також у смугах радіочастот, які плануються для застосування за результатами конверсії. – К.: Адміністрація державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України, 2015 (Нормативний документ Адміністрації державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України).
2. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Ю.А. Феоктистов и др. / Под ред. Феоктистова Ю.А. – М.: Радио и связь, 1998. – 216 с.
3. Алёшин Г.В. Теоретические основы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Г.В. Алёшин. – Х.: ХВУ, 1993.
4. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем: учеб. пособ. / под ред. М.А. Быховского. – М.: Эко-Трендз, 2007. – 376 с.
5. Висоцький О.В. Проблема електромагнітної сумісності при впровадженні в Україні мереж радіотехнології четвертого покоління LTE 800 / О.В. Висоцький, С.А. Макаров, В.О. Лебедев // Тези доповідей третьої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводних мереж зв'язку ЕМС-2017», 23-24 травня 2017 року. – Х.: ХНУРС, 2017. – С. 31-33.
6. Лебедев В.О., Макаров С.А., Висоцький О.В. Моделі взаємодії угруповань РЕЗ спеціальних і загальних користувачів у смузі частот 790-862 МГц // Тези доповідей другої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводних мереж зв'язку ЕМС-2016», 24-26 травня 2016 року. – Х.: ХНУРС, 2016. – С. 54-57.

7. Макаров С.А. Аналіз електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів в умовах впровадження в Україні цифрового мовлення / С.А. Макаров, В.П. Поздняк, Г.Ю. Дукін // Системи обробки інформації. – 2006. – № 3. – С. 89-93.
8. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и радиоконтроль. Методы оценки и эффективности: моногр. / С.В. Беденко и др.; под ред. П.А. Сая. – М.: Радиотехника, 2015. – 400 с.
9. Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2005 р. № 1208 Про затвердження Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України (із змінами), 2017. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1208-2005-p.4>.
10. Постанова Кабінету Міністрів України від 09.06.2006 р. № 815 Про затвердження Плану використання радіочастотного ресурсу України (із змінами), 2017.- ел. доступ <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/815-2006-p>.
11. Славихін В.М. Аспекти удосконалення системи радіотехнічного забезпечення польотів авіації Повітряних Сил Збройних Сил України / В.М. Славихін, О.В. Висоцький, С.А. Макаров, В.О. Лебедєв // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4. – С. 33-37.
12. Коваленко І.Г. Методика аналізу електромагнітної сумісності засобів радіозв'язку спеціального призначення / І.Г. Коваленко, С.П. Бригадир, Ю.А. Мазниченко // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2016. – № 1. – С. 71-80.

References

1. Administratsiya derzhavnoyi sluzhby spetsial'noho zv'yazku ta zakhystu informatsiyi Ukrayiny, (2015), “*The methodology of conducting rozraunkiv elektromagnitinni sumisnosti ti normi of frequency-territoryalnogo roznesennya radioehlektronnykh zabobov at smougah radioconot, yaki pidlyagayut convertsii (1920-1935 / 2110-2125, 1950-1965 / 2140-2155, 1965-1980 / 2155-2170), and takozh at smugah radiosience, yaki to plan for a shuffle after the results of conversion*” [The method of conducting calculations of electromagnetic compatibility and the norms of frequency-territorial separation of radio-electronic means in the band of radio frequencies subject to conversion (1920-1935 / 2110-2125, 1950-1965 / 2140-2155, 1965-1980 / 2155-2170), as well as in stripes radio frequencies, which are planned for application by conversion results], Administratsiya svyativnoi sbybi spetsial'nogo zv'yuku ta zahystu informatsii Ukrainy, Kiev.
2. Feoktistov, Yu.A. and Matasov, L.I. (1998), “*Teoriya i metody otsenki elektromagnitnoy sovmestimosti radioelektronnykh sredstv*” [Theory and methods for estimating the electromagnetic compatibility of radioelectronic facilities], Radio and Communication, Moscow, 216 p.
3. Aleshin, G.V., (1993), “*Teoreticheskiye osnovy elektromagnitnoy sovmestimosti radioelektronnykh sredstv*” [Theoretical bases of electromagnetic compatibility of radio electronic means], Kharkov Military University, Kharkov.
4. Bykhovskiy, M.A., (2007), “*Upravleniye radiochastotnym spektrom i elektromagnitnaya sovmestimost' radiosistem*” [Radio Frequency Spectrum Management and Electromagnetic Compatibility of Radio Systems], Eco-Trends, Moscow, 376 p.
5. Visotsky, O.V., Makarov, S.A. and Lebedev, V.O. (2017), “*Problema elektromagnitnoy sumisnosti pry vprovadzhenni v Ukrayini merezh radiotekhnolohiyi chetvertoho pokolinnya LTE 800*” [The problem of electromagnetism in the future is in the fourth generation of LTE 800], *abstracts of reports III international scientific and technical science conference of KNURE “Problems of electromagnetic compatibility of promising wireless networks of sacredness (EMC-2017)”*, KNURE, Kharkov, pp. 31-33.
6. Lebedev, V.O., Makarov, S.A., Visotsky, O.V., (2016), “*Modeli vzayemodiyi uhrupovan' REZ spetsial'nykh i zahal'nykh korystuvachiv u smuzi chastot 790-862 MHz*” [Protective criteria of the airborne radio-navigation service when introducing LTE-800 fourth-generation mobile (mobile) communication networks in Ukraine], *abstracts of the reports of the Second International Scientific and Technical Conference “Problems of Electromagnetic Compatibility of Promising Wireless Communication Networks EMC-2016”*, KNURE, Kharkov, pp. 54-57.
7. Makarov, S.A., Pozdnyak, V.P. and Dukin, G.Yu. (2006), “*Analyz elektromagnitnogo sumisnosti radioelektronnykh zabobov in the mental situation in Ukraine in the digital phenomenon*” [Analysis of electromagnetic compatibility of radio-electronic means in conditions of implementation of digital broadcasting in Ukraine], *Information Processing Systems*, No. 3, pp. 89-93.
8. Bedenko, S.V. (2015), “*Elektromagnitnaya sovmestimost' radioelektronnykh sredstv i radiokontrol'. Metody otsenki i effektivnosti*” [Electromagnetic compatibility of radio electronic means and radio monitoring. Methods of evaluation and effectiveness], Radio Engineering, Moscow, 400 p.
9. Kabinet Ministriv Ukrayiny, (2017), “*Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 15 hrudnya 2005 r. № 1208 Pro zatverdzhennya Natsional'noyi tablytsi rozpodilu smuh radiochastot Ukrayiny (iz zminamy)*” [The decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 15. 12. 2005 p. № 1208 About the solidification of the National Table of the Rospodile Smooth Radiocompatibility of Ukraine], el. access <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1208-2005-p.4>.
10. Kabinet Ministriv Ukrayiny, (2017), “*Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 09.06.2006 r. № 815 Pro zatverdzhennya Planu vykorystannya radiochastotnoho resursu Ukrayiny (iz zminamy)*” [The decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 09.06.2006. No. 815 About the solidification of the Plan of the Vicarage of the Radio Frequency Resource of Ukraine], available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/815-2006-p>.
11. Slavikhin, V.M., Visotskiy, O.V., Makarov, S.A., and Lebeyev, V.O. (2017), “*Aspekty udoskonalennya systemy radiotekhnichnoho zabezpechennya pol'otiv aviatsiyi Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrayiny*” [Aspects of improvement of the system of radio-technical support for aviation flights of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 4, pp. 33-37.
12. Kovalenko, I.G., Brigadir, S.P., and Maznichenko, Y.A. (2016), “*Metody`ka analizu elektromagnitnoy sumisnosti zasobiv radiozv'yazku special'nogo pry`znachennya*” [Method of analysis of electromagnetic compatibility of radio communication of special purpose], *Collection of scientific works of VITI NTUU “KPI”*, No. 1, pp. 71-80.

Надійшла до редколегії 30.03.2018

Схвалена до друку 15.05.2018

Відомості про автора:

Лебедєв Віталій Олександрович
старший викладач
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6552-4599>

Information about the author:

Vitaly Lebedev
Senior Instructor
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6552-4599>

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ МНОЖЕСТВЕННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ГРУППИРОВОК ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ВОЗДУШНОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ В УСЛОВИЯХ ИЗЛУЧЕНИЯ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ РАДИОТЕХНОЛОГИИ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛЕНИЯ В ПОЛОСЕ ЧАСТОТ 790-862 МГц

В.А. Лебедев

В статье рассматривается совершенствование модели множественного взаимодействия группировок радиоэлектронных средств воздушной радионавигационной службы и радиоэлектронных средств мобильной связи четвертого поколения (LTE) на межсистемном уровне на основе анализа особенностей функционирования военной техники воздушной радионавигационной службы и возникающих при этом электромагнитных взаимодействий с базовыми станциями и абонентскими терминалами радиотехнологии LTE в полосе частот 790 ... 862 МГц. Приведен математический аппарат вычисления множественных взаимодействий радиоэлектронных средств радиотехнологии LTE с военной техникой воздушной радионавигационной службы на основе применения типовых элементарных областей взаимодействия различной формы.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, модель множественных взаимодействий, радионавигационная служба.

IMPROVEMENT OF THE MODEL OF MULTIPLE INTERACTIONS OF MILITARY EQUIPMENT GROUPINGS OF AERONAUTICAL-RADIONAVIGATION SERVICE IN THE RADIATION CONDITIONS OF MOBILE NETWORKS OF FOURTH GENERATION RADIO TECHNOLOGY IN THE FREQUENCY BAND 790-862 MHz

V. Lebedev

The article deals with improving interaction model of multiple groups of electronic means of aeronautical-radionavigation service and mobile electronic means of fourth generation (LTE) at the interconnection level based on analysis of the functioning features of aeronautical-radionavigation service military equipment and arising electromagnetic interactions with the base stations and subscriber terminals of LTE radio technology in the band 790 ... 862 MHz. The mathematical apparatus for calculating of the multiple interactions of LTE radio technology electronic means with aeronautical-radionavigation service military equipment on the basis of using the of common areas of elementary interaction of different shapes is presented. The determination theimprovement direction of the methods of forecasting and analysis of electromagnetic compatibility of groups of digital information and telecommunication systems with electronic navigation system radio-electronic means and with the air traffic control facilities is performed in order to maintain their functional properties. The method of analysis of inter-system electromagnetic compatibility of LTE radio-electronic means with military equipment of the aeronautical-radionavigation in the band of 792 ... 860 MHz is developed on the basis of the improvement of the model of inter-system electromagnetic multiple interactions and application of the principles of decomposition and superposition of the broadband component radiofrequency spectrum of radiation of digital information transmission systems. The method allows to restrict the influence of radio-electronic means of LTE that is introduced in Ukraine on radioelectronic systems and means of Air Force military equipment that perform the tasks of navigation and air-traffic control.

Keywords: electromagnetic compatibility, model of multiple interaction, radio-electronic system, radio-navigation service, interaction area, mobile communication of the fourth generation.