

Сергій Анатолійович Макаров (кандидат технічних наук, доцент)

Віталій Олександрович Лебедєв (кандидат технічних наук)

Євген Маркович Дроб (кандидат технічних наук)

Олександр Петрович Ковальчук

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ МІЖСИСТЕМНОЇ ВЗАЄМОДІЇ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМИ ДЕРЖАВНОГО ВПІЗНАВАННЯ І МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ТЕХНОЛОГІЇ LTE У СМУЗІ ЧАСТОТ 1427-1532 МГц

У роботі проведено аналіз методів прогнозування електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів спеціальних та загальних користувачів. Визначено метод аналізу міжсистемної електромагнітної сумісності угруповання радіоелектронних засобів та розроблені складові моделей міжсистемної взаємодії радіоелектронних засобів системи державного впізнавання і мереж мобільного (рухомого) зв'язку за технологією LTE. Побудовано моделі міжсистемної взаємодії радіоелектронних засобів підсистем системи державного впізнавання ЗС України і радіоелектронних засобів мереж технології LTE. Проведемо оцінку взаємодії радіоелектронних засобів системи державного впізнавання і мереж мобільного (рухомого) зв'язку за технологією LTE на міжсистемному рівні для визначення найгірших умов їх взаємодії у визначеній смузі частот. Визначено потенційно несумісні радіоелектронні засоби спеціальних та загальних користувачів у визначеній смузі частот.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, радіоелектронні засоби, загальні користувачі, спеціальні користувачі, система державного впізнавання, повітряна телеметрія, мережа мобільного зв'язку.

Вступ

Постановка проблеми. Однією із складових для успішного виконання бойових завдань Повітряних Сил (ПС) є спроможність озброєння та військової техніки в системі державного впізнавання (СДВ) забезпечувати інформацією щодо контролю повітряного простору, тобто належність об'єктів до своїх та чужих цілей, особливо в умовах впливу завад.

Досвід ведення бойових дій Збройних Сил України на сході України доводить, що системі державного впізнавання яка використовується для управління повітряним рухом в державі належить одна з вирішальних ролей щодо розпізнавання цілей і управління повітряним рухом та забезпечення охорони повітряного простору держави від об'єктів незаконних збройних формувань. [1], [2].

На теперішній час в державі та світі набуває розвиток мобільного стільникового зв'язку за технологією LTE, що призводить до перевантаження радіочастотного спектру, збільшення кількості радіозасобів як загального, так і спеціального призначення. Тому постає актуальною задача забезпечення якісного функціонування радіоелектронних засобів (РЕЗ) спеціальних користувачів у спільних та суміжних діапазонах радіочастот із РЕЗ загальних користувачів. Для вирішення цієї задачі виникає необхідність дослідження напрямків розвитку

системи державного впізнавання (радіолокаційної системи з активним запитом та відповіддю), методів обробки радіолокаційної інформації та сигналів, а також розробки та впровадження моделей системи державного впізнавання, визначення характеру міжсистемної взаємодії забезпечення електромагнітної сумісності РЕЗ системи державного впізнавання та РЕЗ мереж мобільного зв'язку за технологією LTE, напрямку розвитку та вдосконалення системи державного впізнавання яка використовуються в Повітряних Силах Збройних Сил України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час видано значну кількість праць щодо питань забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів радіотехнічного забезпечення та РЕЗ загальних користувачів [1-4], [14-22]. Роботи [5-6] показують можливості використання позитивного світового досвіду та аспекти удосконалення системи державного впізнавання яка використовується в Повітряних Силах Збройних Сил України.

У роботах [7] проведений аналіз нормативно-правових документів у сфері використання радіочастотного спектру України, [7] визначено методи та напрямки удосконалення моделі множинної взаємодії РЕЗ спеціальних та загальних користувачів на міжсистемному рівні для визначення найгірших умов їх взаємодії.

У роботах [7] проведений аналіз особливостей

побудови радіолокаційних систем державного впізнання України та збройних сил іноземних держав, а в [8] перспективи розвитку системи державного впізнання України.

Мета статті є аналіз системи державного впізнання яка використовуються у Збройних Силах України з розробкою моделей взаємодії озброєння та військової техніки Повітряних Сил ЗС України та радіоелектронних засобів мережі LTE у смузі частот для виявлення тенденції в напрямку розвитку та вдосконалення радіолокаційних систем з активною системою запиту та відповіді які використовуються в системі державного впізнання у Повітряних Силах Збройних Сил України, що забезпечить належну завадостійкість військової техніки від впливу випромінювання систем мобільного зв'язку технології LTE.

Виклад основного матеріалу дослідження

Система державного впізнання (СДВ) досить широко використовується як у військовому так і цивільному секторі для управління повітряним рухом повітряних суден та їх ідентифікації у системі державного впізнання. Основу СДВ складають радіолокаційні системи вторинної радіолокації, тобто радіолокаційні системи з активним запитом та відповіддю, у яких за рахунок кодування інформації можливо забезпечити визначення належності повітряного судна в системі свій-чужий. На сьогоднішній час у світі поширені СДВ які являють собою систему радіолокаційного впізнання розробки радянського союзу “Кремний”, “Пароль” (яка використовується і в Україні) та США Mk X(SIF), Mk XA, Mk XII (яка взагалі використовується країнами, що входять до блоку НАТО).

Система розпізнання НАТО Mk X, Mk XA, Mk XII, Mk XIIA створені на основі системи Mk X вони інтегровані у цивільну складову міжнародною системи ATCRBS (Air Traffic Control Radar Beacon System) і забезпечують військове розпізнання, контроль та управління повітряним рухом.

При цьому потрібно зазначити наступне, що частотні діапазони які використовуються у цих системах несумісні, що обумовлює при впровадженні в Україні систем мобільного рухомого зв'язку технології LTE забезпечення якості роботи РЕЗ системи державного впізнання, що потребує аналізу електромагнітної сумісності (ЕМС) та розробки методів забезпечення ЕМС систем мобільного рухомого зв'язку технології LTE з угрупованнями військової техніки СДВ Повітряних Сил у заданій смузі частот.

Методи аналізу електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів РЕЗ поділяються на детерміновані, імовірнісні та імовірнісно-детерміновані за наступними ознаками (координати розташування, особливості місцевості, технічні характеристики, умови поширення радіохвиль, характер взаємодії РЕЗ і тощо).

При удосконаленні методів аналізу міжсистемної

ЕМС визначаються межі застосування методів аналізу та прогнозування ЕМС за критерієм ефективності використання радіочастотного ресурсу України.

Метод аналізу ЕМС в угрупованнях РЕЗ системи СДВ відносно радіоелектронних засобів системи мобільного зв'язку за технологією стандарту LTE (рис. 1) складається з моделей множинних електромагнітних взаємодій РЕЗ, моделей розташування елементів мереж, 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 електромагнітної сумісності за обраним критерієм.

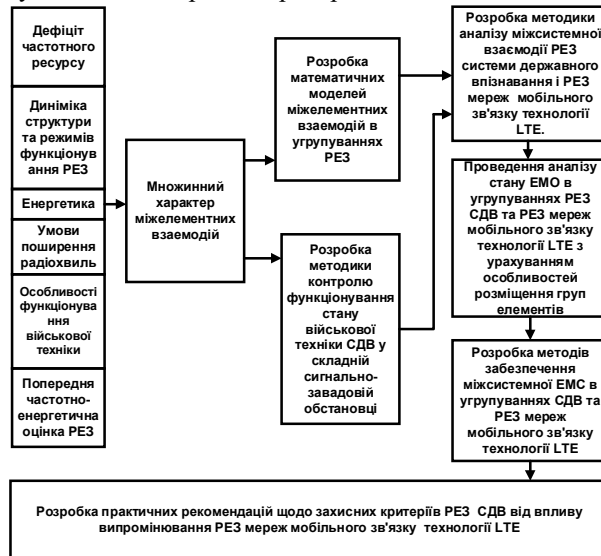


Рис. 1. Метод аналізу міжсистемної ЕМС угруповання РЕЗ СДВ та РЕЗ LTE

Моделі множинних електромагнітних взаємодій РЕЗ включають:

моделі динамічного та фазового станів угруповань РЕЗ, які визначають поведінку нелінійної динамічної системи;

динамічної моделі опису процесу взаємодії РЕЗ в угрупованнях, яка складається з електромагнітних взаємних зв'язків між РЕЗ.

Зазначимо, що моделі розташування РЕЗ систем державного впізнання та мереж мобільного зв'язку стандарту LTE, характеризуються детермінованою та ймовірнісною моделями. Модель наземних РЕЗ систем державного впізнання та передавачів базових станцій мережі стандарту LTE характеризується детермінованою моделлю, а модель наземних та бортових радіоелектронних засобів СДВ та передавачів абонентських терміналів мережі стандарту LTE характеризується ймовірнісною моделлю.

При цьому необхідно врахувати електромагнітну обстановку яка буде складатися з моделі рецепторів РЕЗ та середовища поширення радіохвиль і має імовірний характер та розраховується із застосуванням різних моделей приймально-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 радіоелектронних засобів – 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 суміші сигналів та завад на вході приймального пристрою спеціальних користувачів базуються: на основному рівнянні радіозв'язку (рівнянні передачі); на використанні стохастичних моделей об'єднання сигналів від різних джерел, що характеризуються випадково-детермінованою структурою і розраховуються відповідно до законів електродинаміки.

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).

Розрахунок енергетичних характеристик неприпустимих завад, що визначають заводову обстановку у будь-якій точці простору, передбачає визначення потужності неприпустимої завади на вході приймача.

При парній оцінці ЕМС потужність завади на вході приймача визначається за виразом (1):

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

де $P_{пер}$ – 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;

$k_{пн}$ – коефіцієнт поляризаційного захисту;

f – робоча частота,

r_i – відстань між i -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.

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: кільця Ω_K (взаємодії радіолокаційних систем державного впізнання та БС мережі зв'язку стандарту LTE), які наведені на рис. 2.; сектор кільця $\Omega_{СК}$ (взаємодії радіолокаційних систем державного впізнання та абонентських терміналів мережі зв'язку стандарту LTE, які наведені на рис. 3.) та коло Ω_O при взаємодії літакових відповідачів (СО) повітряних суден і абонентських терміналів мережі зв'язку стандарту LTE, які наведені на рис. 4.

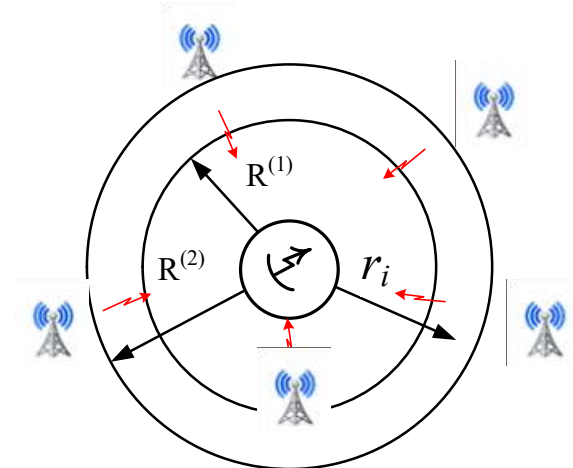


Рис. 2. Елементарні області взаємодії РЕЗ LTE з РЕЗ системи державного впізнання

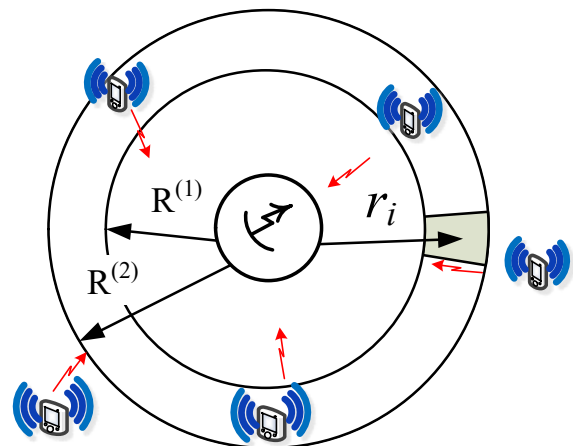


Рис. 3. Елементарні області взаємодії РЕЗ абонентських терміналів LTE з РЕЗ СДВ та базових станцій LTE з РЕЗ системи державного впізнання ЛВО

Для кожної області $\Omega = \{\Omega_K, \Omega_{СК}, \Omega_O\}$ 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 i -го РЕЗ СДВ с центром в точці розміщення (x_i, y_i) - $F_i(r_i) = \rho_{\Omega} \int_{D_i(r_i)} dx dy$ [8].

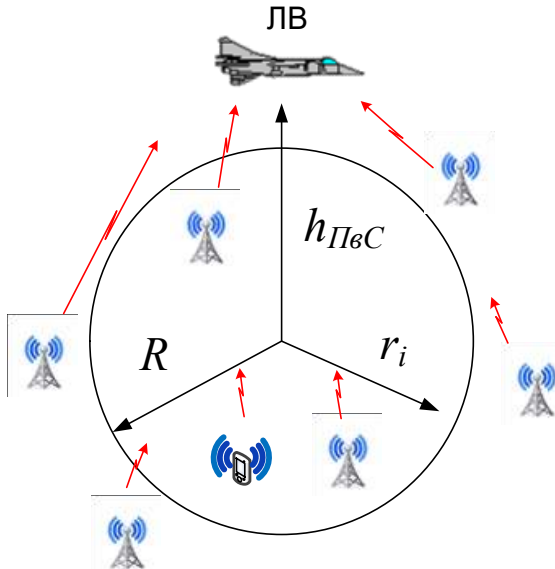


Рис. 4. Елементарні області взаємодії РЕЗ абонентських терміналів LTE з РЕЗ СДВ та базових станцій LTE з РЕЗ СДВ ЛВО

Функція розподілу відстані $F_i(r_i)$ для області Ω_K с центром у точці (x_0, y_0) , з малим та великим радіусами $R^{(1)}, R^{(2)}$ знаходиться за допомогою 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 СДВ до j -го РЕЗ з невизначеним місцеположенням, визначається згідно виразу $d = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$ [8];

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

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} с 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:

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

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

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

Враховуючі вимоги ГОСТ В 25838 аналіз та прогнозування ЕМС здійснюється для найгіршого випадку сигнально-завадової обстановки, яка визначається шляхом побудови моделі множинної міжсистемної взаємодії РЕЗ системи державного впізнання (СДВ) і РЕЗ мереж технології LTE.

В основу побудови моделі взаємодії РЕЗ системи державного впізнання і РЕЗ мереж зв'язку технології LTE покладено аналіз умов та особливостей функціонування РЕЗ СДВ та РЕЗ LTE з детальним врахуванням особливостей розміщення РЕЗ, характеристик їхніх діаграм спрямованості, взаємної просторової орієнтації антенних систем та їх поляризації.

СДВ Збройних Сил України має наступну структуру (рис.5) і складається з підсистеми СДВ Протиповітряної оборони Сухопутних військ підсистеми СДВ Повітряних Сил, підсистеми СДВ Військово-Морських Сил та підсистеми СДВ Десантно-штурмових військ.

Ці складові забезпечують комплексну роботу системи державного впізнання при виявленні об'єкта в повітряному просторі держави, визначення належності у системі свій-чужий.

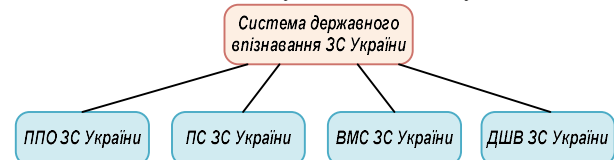


Рис. 5. Структура СДВ Збройних Сил України

Розглянемо взаємодію елементів моделі міжсистемної взаємодії РЕЗ кожної з підсистем системи державного впізнання ЗС України і РЕЗ мереж технології LTE.

Модель міжсистемної взаємодії РЕЗ підсистеми Протиповітряної оборони ЗС України і РЕЗ мереж технології LTE наведено на рис 6.

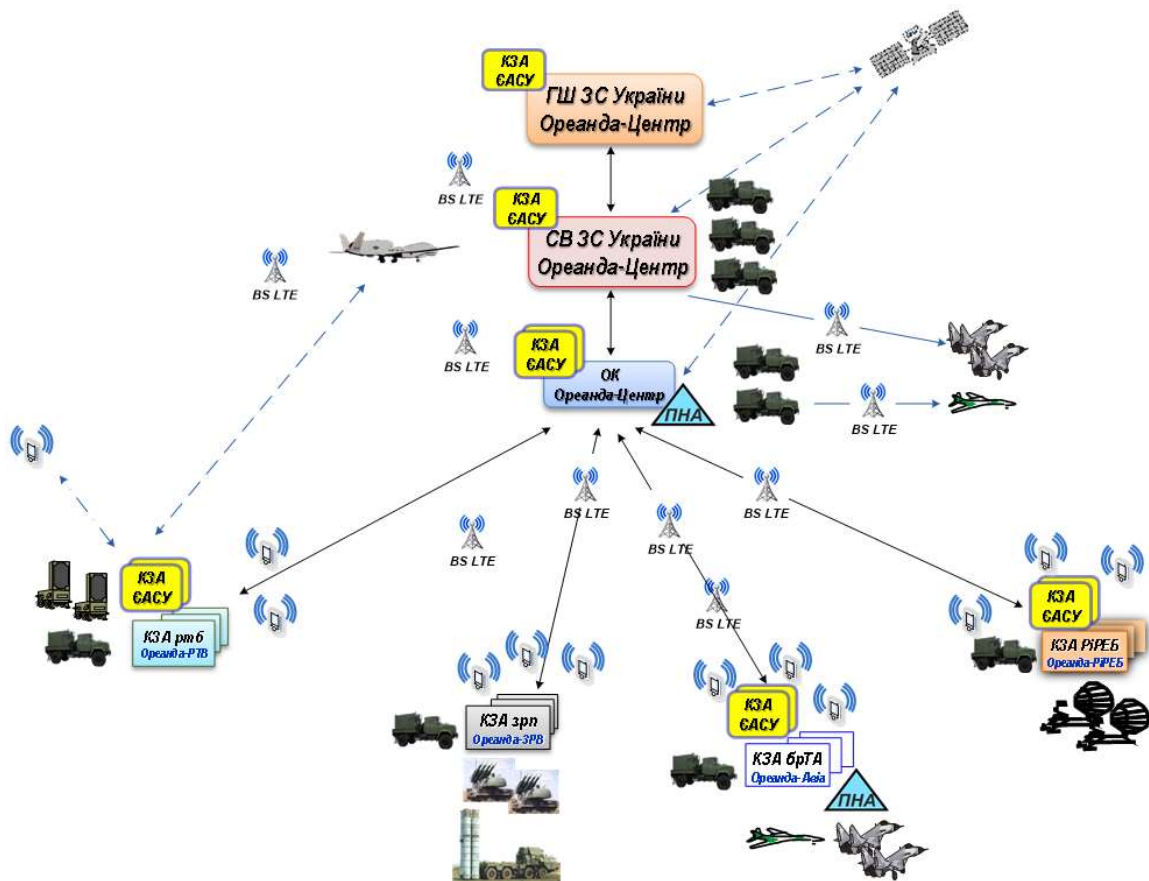


Рис. 6. Модель міжсистемної взаємодії РЕЗ підсистеми Протиповітряної оборони ЗС України і РЕЗ мереж технології LTE

Модель міжсистемної взаємодії РЕЗ підсистеми Протиповітряної оборони ЗС України і РЕЗ мереж технології LTE характеризується детермінованою та ймовірнісною моделями. До складових детермінованої моделі будуть входити приймальні та передавальні пристрої наземних (71Е6, 73Е6, 76Е6, 1Л22, 1Л23, 1Л24) та літакових (6231) радіолокаційних запитувачів СДВ та передавачі базових станцій мережі стандарту LTE. До складових ймовірнісної моделі будуть входити приймальні та передавальні пристрої наземних (71Е6, 73Е6, 76Е6, 1Л22, 1Л23, 1Л24) та літакових (6231) радіолокаційних запитувачів СДВ та передавачі абонентських терміналів мережі стандарту LTE.

Модель міжсистемної взаємодії РЕЗ підсистеми Військово-Морських Сил ЗС України і РЕЗ мереж технології LTE наведено на рис 7.

Модель міжсистемної взаємодії РЕЗ підсистеми Військово-Морських Сил ЗС України і РЕЗ мереж технології LTE характеризується детермінованою та ймовірнісною моделями. До складових детермінованої моделі будуть входити приймальні та передавальні пристрої морських та наземних засобів (71Е6, 73Е6, 76Е6, 1Л22, 1Л23, 1Л24) та літакових (6231) радіолокаційних запитувачів СДВ та передавачі базових станцій мережі стандарту LTE. До складових ймовірнісної моделі будуть входити приймальні та передавальні пристрої морських та наземних засобів (71Е6, 73Е6, 76Е6, 1Л22, 1Л23, 1Л24) та літакових (6231)

радіолокаційних запитувачів СДВ та передавачі абонентських терміналів мережі стандарту LTE.

Модель міжсистемної взаємодії РЕЗ підсистеми Повітряних Сил ЗС України і РЕЗ мереж технології LTE наведено на рис 8.

Модель міжсистемної взаємодії РЕЗ підсистеми Повітряних Сил ЗС України і РЕЗ мереж технології LTE характеризується детермінованою та ймовірнісною моделями. До складових детермінованої моделі будуть входити приймальні та передавальні пристрої наземних (71Е6, 73Е6, 76Е6, 1Л22, 1Л23, 1Л24) та літакових (6231) радіолокаційних запитувачів СДВ та передавачі базових станцій мережі стандарту LTE. До складових ймовірнісної моделі будуть входити приймальні та передавальні пристрої наземних (71Е6, 73Е6, 76Е6, 1Л22, 1Л23, 1Л24) та літакових (6231, 6101, 6102) радіолокаційних запитувачів СДВ та передавачі абонентських терміналів мережі стандарту LTE.

Розглянемо більш детально модель міжсистемної взаємодії РЕЗ підсистеми ПС ЗС України і РЕЗ мереж технології LTE.

Для збереження функціональності РЕЗ СДВ та прогнозування електромагнітної сумісності (ЕМС) між РЕЗ системи державного впізнання та РЕЗ LTE розглянемо міжсистемні взаємодії даних РЕЗ окремо для кожної смуги частот, на підставі них побудуємо моделі взаємодії та проведемо оцінку взаємодії РЕЗ системи державного впізнання та РЕЗ LTE.

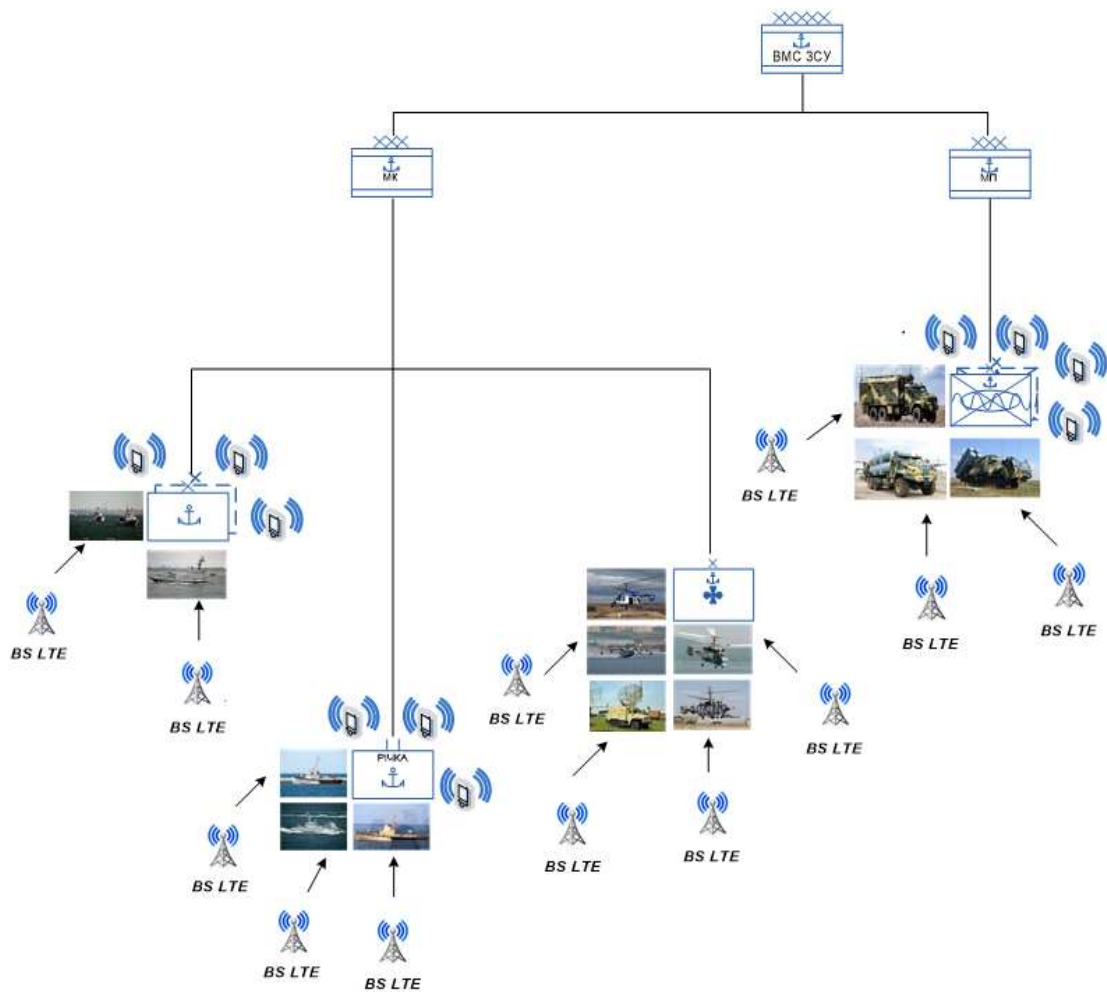


Рис. 7. Модель міжсистемної взаємодії РЕЗ підсистеми Військово-Морських Сил ЗС України і РЕЗ мереж технології LTE

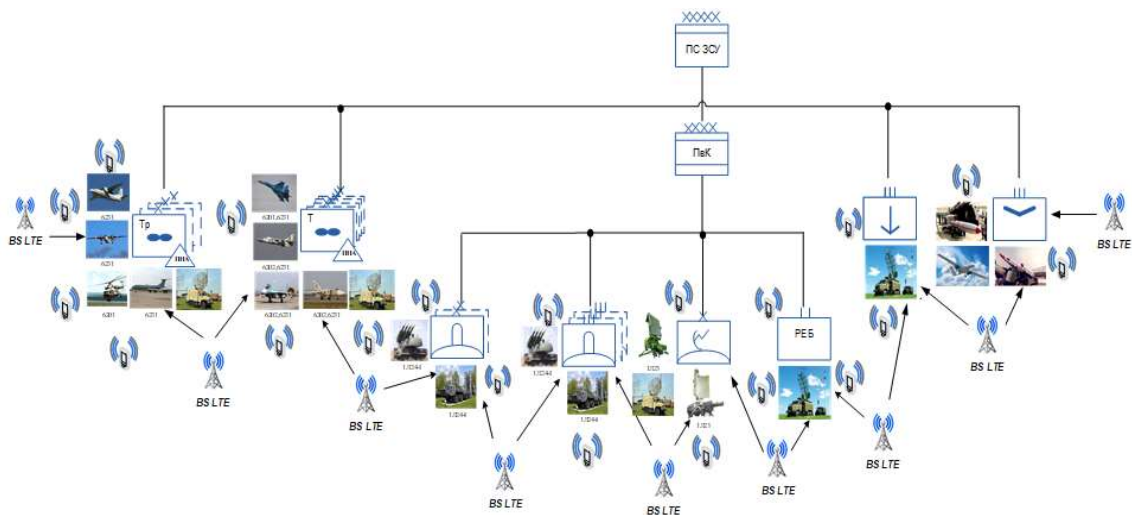


Рис. 8. Модель міжсистемної взаємодії РЕЗ підсистеми Військово-Морських Сил ЗС України і РЕЗ мереж технології LTE

Модель міжсистемної взаємодії РЕЗ підсистеми Повітряних Сил ЗС України і РЕЗ мереж технології LTE характеризується детермінованою та ймовірнісною моделями. До складових детермінованої моделі будуть входити приймальні та передавальні пристрої наземних (71Е6, 73Е6, 76Е6, 1Л22, 1Л23, 1Л24) та літакових (6231)

радіолокаційних запитувачів СДВ та передавачі базових станцій мережі стандарту LTE. До складових ймовірнісної моделі будуть входити приймальні та передавальні пристрої наземних (71Е6, 73Е6, 76Е6, 1Л22, 1Л23, 1Л24) та літакових (6231, 6101, 6102) радіолокаційних запитувачів

СДВ та передавачі абонентських терміналів мережі стандарту LTE.

Розглянемо більш детально модель міжсистемної взаємодії РЕЗ підсистеми ПС ЗС України і РЕЗ мереж технології LTE.

Для збереження функціональності РЕЗ СДВ та прогнозування електромагнітної сумісності (ЕМС) між РЕЗ системи державного впізнання та РЕЗ LTE розглянемо міжсистемні взаємодії даних РЕЗ окремо для кожної смуги частот, на підставі них побудуємо моделі взаємодії та проведемо оцінку взаємодії РЕЗ системи державного впізнання та РЕЗ LTE.

Основна частка радіочастотного спектру від 1427 МГц до 1532 МГц для надання послуг операторами телекомунікацій за стандартом LTE (band 21 – (1447,9 – 1462,9) МГц та (1495,9 – 1510,9) МГц; band 24 – (1525 – 1559) МГц; band 32 – (1452 – 1496) МГц; band 45 – (1447 – 1467) МГц; band 50 – (1432 – 1517) МГц; band 51 – (1427 – 1432) МГц; band 74 – (1427 – 1470) МГц та (1475 – 1518) МГц; band 75 – (1432 – 1517) МГц; band 76 – (1427 – 1432) МГц) на даний час використовується засобами повітряної телеметрії ЗС України.

В цілому міжсистемна взаємодія ОВТ Повітряних Сил ЗС України і РЕЗ систем

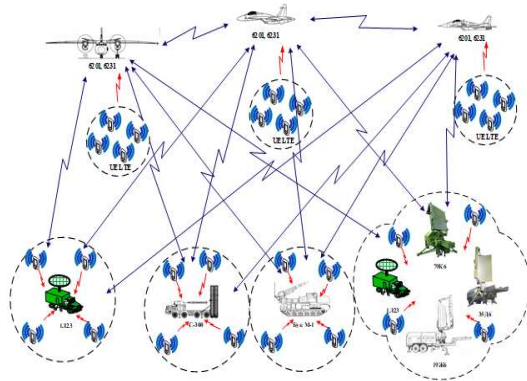


Рис. 9. Модель взаємодії озброєння та військової техніки (ОВТ) Повітряних Сил ЗС України та РЕЗ

БС LTE з наземними радіолокаційними запитувачами типу 71Е6, 73Е6, 76Е6, 1Л22, 1Л23, 1Л24 та літаковим радіолокаційним запитувачем типу 6231 одночасно використовують частоту 1458 МГц та 1470 МГц (bands 21, 45, 50, 74), тому спільне використання радіочастот даними РЕЗ можливе на основі частотного або територіального рознесення;

АТ LTE з наземними радіолокаційними запитувачами типу 71Е6, 73Е6, 76Е6, 1Л22, 1Л23, 1Л24 та літаковим радіолокаційним запитувачем

Висновки й перспективи подальших досліджень

У статті проведено аналіз методів прогнозування та забезпечення електромагнітної сумісності та побудовано моделі міжсистемної взаємодії системи державного розпізнання ЗС

мобільного зв'язку технології LTE здійснюється у діапазоні частот від (1427 – 1532) МГц, моделі взаємодії ОВТ Повітряних Сил ЗС України та РЕЗ LTE за розподілом діапазону у смузі частот (1427 – 1532) МГц, що відповідає bands 21, 74 за класифікацією 3GPP, наведена на рис. 9, для bands 24, 32, 75 – на рис. 10, bands 45, 50 – на рис. 11 відповідно.

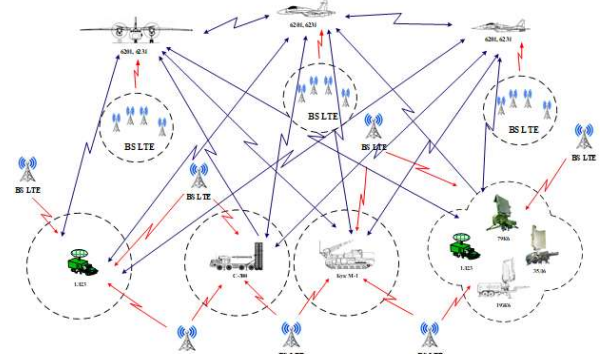


Рис. 10. Модель взаємодії ОВТ ПС ЗС України та РЕЗ мережі LTE у смузі частот, що відповідає bands 24, 32, 75.

мережі LTE у смузі частот, що відповідає bands 21, 74.

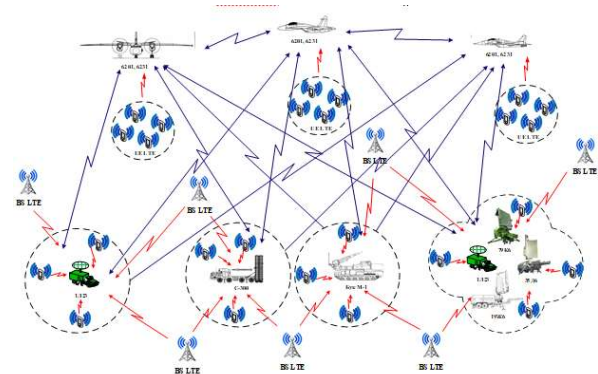


Рис. 11. Модель взаємодії системи державного розпізнання ЗС України та РЕЗ мережі LTE у смузі частот, що відповідає bands 45, 50.

типу 6231 одночасно використовують частоту 1458 МГц та 1470 МГц (bands 11, 32, 45, 50, 75), тому спільне використання радіочастот даними РЕЗ можливе на основі частотного або територіального рознесення;

АТ LTE та літаковий радіолокаційний відповідач типу 6201 (6202) одночасно використовують частоту 1532 МГц (band 24), тому спільне використання радіочастот даними РЕЗ можливе на основі частотного або територіального рознесення.

України та РЕЗ мережі LTE у смузі частот 1427-1532 МГц, та моделі взаємодії ОВТ Повітряних Сил ЗС України та РЕЗ мережі стандарту LTE за відповідними bands за класифікацією 3GPP.

Зазначимо, що у зв'язку з особливістю використання системи державного впізнання спільне використання радіочастот даними РЕЗ

можливе на основі частотного або територіального рознесення в Україні з наступними обмеженнями:

смугу частот band 21 використовувати частково, діапазон робочих частот базової станції мережі стандарту LTE в межах від 1495,9 МГц до 1499 МГц заборонити до використання загальними користувачами, а від 1499,1 МГц до 1510,9 МГц дозволити до використання;

смугу частот band 75 використовувати частково, діапазон робочих частот базової станції мережі стандарту LTE в межах від 1432 МГц до 1499 МГц заборонити до використання загальними користувачами, а від 1499,1 МГц до 1517 МГц дозволити до використання;

Література

1. Про затвердження Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України : Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2005 р. № 1208 (із змінами № 15 від 15.01.2020). URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1208-2005-п> (дата звернення 12.08.2021). 2. Про затвердження Плану використання радіочастотного ресурсу України : Постанова Кабінету Міністрів України від 09 червня 2006 р. № 815 (із змінами № 1263 від 16.12.2020). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/815-2006-п> (дата звернення 11.08.2021). 3. Макаров С. А., Поздняк В. П., Дукін Г. Ю. Аналіз електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів в умовах впровадження в Україні цифрового мовлення. *Системи обробки інформації*. 2006. № 3(52). С. 89-93. <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/journal/soi/2006/3>. 4. Макаров С. А. Підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу шляхом покращення частотної вибірконості радіолокаційних систем посадки. *Системи обробки інформації*. 2012. № 9(107). С. 46-49. <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/journal/soi/2012/9>. 5. Макаров С. А., Поздняк В. П., Висоцький О. В., Лебедев В. О. Методи аналізу міжсистемної електромагнітної сумісності на перехідний період конверсії для розвитку мереж UMTS : сб. научн. тр. перв. междунар. научно-технич. конф. Харьков : ХНУРЕ, 2015. С. 106-108. Макаров С. А., Лебедев В. О. Аналіз забезпечення електромагнітної сумісності новітніх засобів стільникового зв'язку та радіотехнічних систем ближньої навігації з урахуванням досвіду у зоні проведення АТО. *Проблеми навігації і управління рухом* : сб. тез. доп. всеукр. наук.-практ. конф. мол. учен. і студ., м. Київ, 23-25 лист. 2015 р. Київ, 2015. С. 94. <http://ian.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2016/07/sbornik.pdf>. 6. Макаров С. А., Лебедев В.О. Аналіз забезпечення електромагнітної сумісності новітніх засобів стільникового зв'язку та радіотехнічних систем забезпечення польотів державної авіації. *Новітні технології – для захисту повітряного простору* : сб. тез доп. XII наук. конф. Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2016. С. 200. 7. Макаров С. А., Лебедев В. О., Сокол О. О. Проблема електромагнітної сумісності при впровадженні системи рухомого зв'язку четвертого покоління в смузі частот 790 – 862 МГц. *Новітні технології – для захисту повітряного простору* : сб. тез доп. XIII наук. конф. Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2017. С. 246-247. <http://www.hups.mil.gov.ua/nauka/konferencii-kursantiv-ta-studentiv/trinadcjata-naukova-konferenciya-24-25-travnja-2017-roku>. 8. Макаров С. А., Лебедев В. О.,

заборонити використання базових станцій та абонентських терміналів технології LTE в смугах частот bands 11, 32, 45, 50, 51, 74 (див. табл. 1.1) на території України для виключення їх впливу на систему державного впізнання України.

Вирішення проблеми забезпечення ЕМС між РЕЗ системи державного впізнання та РЕЗ мережі стандарту LTE можливе при проведенні заходів конверсії смуги частот 1427-1532 МГц, або шляхом заміни СДВ розробки радянського союзу “Кремний”, “Пароль” (яка використовується в Україні) на системи СДВ Mk X(SIF), Mk XA, Mk XII (яка використовується країнами, що входять до блоку НАТО).

Висоцький О. В. Проблема електромагнітної сумісності при впровадженні в Україні мереж радіотехнології четвертого покоління LTE 800. *Проблеми електромагнітної сумісності перспективних беспроводних мереж (ЕМС-2017)* : сб. науч. тр. втор. междун. научно-технич. конф. Харьков: ХНУРЕ, 2017. С. 31-34. 9. Лебедев В.О., Костенко І.Л., Поздняк В.П., Павліченко О.А. Проблема електромагнітної сумісності при впровадженні в Україні мереж радіотехнології LTE у смугах частот 880...915 МГц та 925...960 МГц. *Проблеми електромагнітної сумісності перспективних беспроводних мереж (ЕМС-2018)* : сб. науч. тр. втор. междун. научно-технич. конф. Харьков: ХНУРЕ, 2018. С. 5-8. <https://nure.ua/wp-content/uploads/workshop/ems-2018.pdf>. 10. Лебедев В. О., Макаров С. А., Висоцький О. В. Аналіз електромагнітної сумісності смуги частот 790-862 МГц на території України для впровадження мережі мобільного зв'язку за технологією LTE. *Радіотехніка*. 2017. № 3(190). С. 22-25. <http://rt.nure.ua/article/view/179988>. 11. Нізієнко Б. І., Юхновський С.А., Макаров С.А. Аспекти удосконалення системи управління протиповітряною обороною України. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2017. № 1(26). С. 17-20. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.03>. 12. Турінський О. В., Дзєверін І.Г., Демідов Б.О., Гриб Д.А., Хмелевська О.О. Аналіз можливостей використання позитивного світового досвіду для обґрунтування і реалізації планів і програм розвитку системи озброєння протиповітряної оборони. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. – 2020. – № 1(63). – С. 7-16. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.63.01>. 13. Крылов Е. Перспективы развития радиолокационных станций вооруженных сил иностранных государств. *Зарубежное военное обозрение*. 2018. № 2. С. 37-40. 14. Макаров С. А., Московченко І. В., Лебедев В. О., Павліченко О. А. Дослідження умов електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів повітряної рухомої й радіолокаційної служб та засобів трекінгового зв'язку у смузі частот 136...174 МГц. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2017. № 4(29). С. 48-53. <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/journal/nitps/2017/4>. 15. Степанов Г. С., Лебедев В. О., Павленко М. А. Удосконалення методу аналізу міжсистемної електромагнітної сумісності угруповання військової техніки повітряної радіонавігаційної служби та радіоелектронних засобів мережі рухомого зв'язку за технологією LTE на основі декомпозиції та суперпозиції частотного спектру випромінюваного широкопasmового складового сигналу. *Труди університету*. 2018. № 5(150).

- C. 56-67. **16. Коваленко І. Г.** Методика аналізу об'єктової електромагнітної сумісності засобів зв'язку. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2013. № 2. С. 28-33. **17. Коваленко І. Г.** Методика аналізу електромагнітної сумісності засобів радіозв'язку фіксованої радіослужби спеціального призначення. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2014. № 1. С. 21-29. http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2014/zb_1501.pdf. **18. Коваленко І. Г.** Методика аналізу електромагнітної сумісності засобів радіозв'язку рухомої радіослужби спеціального призначення. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2015. № 1. С. 35-41. http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2015/2_1_2015.pdf. **19. Коваленко І. Г.,** Бригадир С. П., Мазниченко Ю. А. Методика аналізу електромагнітної сумісності засобів радіозв'язку спеціального призначення. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2016. № 1. С. 71-80. http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2016/3_1_2016.pdf. **20. Коваленко І. Г.,** Малих В.В., Макаруч В.І. Загальна методика та алгоритм розрахунку електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2020. № 2. С. 17-27. http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2020/2_2_2020.pdf. **21. Бузов А. Л.** Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем : монография / под редакцией М. А. Быховского. Москва : Эко-Трендз, 2006. 376 с. **22.** Recommendation ITU-R P.341-5. The concept of transmission loss for radio links. URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/md/12/sg03/rp/R12-SG03-RP-1002!!MSW-E.docx. **23.** Регламент радиосвязи. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565737147>.

IMPROVEMENT OF THE MODEL OF INTER-SYSTEM INTERACTION OF RADIO-ELECTRONIC FACILITIES OF THE STATE IDENTIFICATION SYSTEM AND MOBILE COMMUNICATION NETWORK USING LTE TECHNOLOGY IN THE FREQUENCY BAND 1427-1532 MHz

Makarov Sergij (Candidate of Technical Sciences)

Vitaly Liebiediev (Candidate of Technical Sciences)

Yevhen Drob (PhD)

Oleksander Kovalchuk

Kharkiv national Air Forces University named after I. Kozhedub, Kharkiv, Ukraine

The paper analyzes and predicts the electromagnetic compatibility of the state identification system used in the Armed Forces of Ukraine and the LTE mobile network. The method of development of models of interaction of armament, military equipment of the Armed Forces of Ukraine and electronic means (RES) of mobile network of LTE standard in a certain frequency band is determined to identify trends in development and improvement of radar systems with active request and response system -foreign) used in the system of state recognition in the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, which will ensure proper noise immunity of military equipment from the effects of radiation of mobile communication systems of LTE technology. The method of analysis of intersystem EMC grouping of radio electronic means of the state identification system (SDV) in relation to the mobile communication system by LTE technology is determined and the components of models of intersystem interaction of radio electronic means of the state recognition system and mobile (mobile) communication networks by LTE technology are developed. The models of interaction between RES and LTE communication networks take into account the conditions and features of operation of RES and LTE networks. The models take into account the peculiarities of RES placement, characteristics of their radiation patterns, mutual spatial orientation of antenna systems and their polarization. Models of intersystem interaction of RES of subsystems of SDV of the Armed Forces of Ukraine and mobile communication networks of LTE technology in the range of frequencies of the state recognition system are constructed. We will evaluate the interaction of electronic means of the state recognition system and mobile communication networks using LTE technology at the intersystem level to determine the worst conditions of their interaction according to the relevant bands according to the 3GPP classification. Potentially incompatible electronic devices of special and general users in a certain frequency band have been identified. Possible ways and directions of providing intersystem EMC mobile network LTE technology and state recognition system are identified, which are to carry out measures to convert the band 1427-1532 MHz, or by replacing the state recognition system of the Soviet Union with the state recognition system used by countries members of the NATO bloc.

Keywords: *electromagnetic compatibility, radio electronic means, general users, special users, aerial telemetry, digital sound broadcasting, mobile networks.*

References

1. Pro zatverdzhennia Natsionalnoi tablytsi rozpodilu smuh radiochastot Ukrainy : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 15 hrudnia 2005 r. № 1208 (iz zminyamy № 15 vid 15.01.2020). URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1208-2005-p> (data zvernennia 12.08.2021).
2. Pro zatverdzhennia Planu vykorystannia radiochastotnoho resursu Ukrainy : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 09 chervnia 2006 r. № 815 (iz zminyamy № 1263 vid 16.12.2020). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/815-2006-p> (data zvernennia 11.08.2021).
3. **Makarov S. A.,** Pozdniak V. P., Dukin H. Yu. Analiz elektromagnitnoi sumisnosti radioelektronnykh zasobiv v umovakh vprovadzhennia v Ukraini tsyfrovoho movlennia. *Systemy obrobky informatsii*. 2006. № 3(52). S. 89-93. <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/journal/soi/2006/3>.
4. **Makarov S. A.** Pidvyshchennia efektyvnosti vykorystannia radiochastotnoho resursu shliakhom pokrashchennia chastotnoi vybirkovosti radiolokatsiinykh system posadky. *Systemy obrobky informatsii*. 2012. №

- 9(107). S. 46-49. <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/journal/soi/2012/9>.
- 5. Makarov S. A.,** Pozdniak V. P., Vysotskyi O. V., Liebidiev V. O. Metody analizu mizhsystemnoi elektromahnitnoi sumisnosti na perekhidnyi period konversii dlia rozvytku merezh UMTS : sb. nauchn. tr. perv. mezhdunar. nauchno-tekhnykh. konf. Kharkov : KhNURE, 2015. S. 106-108. Makarov S. A., Liebidiev V. O. Analiz zabezpechennia elektromahnitnoi sumisnosti novitnikh zasobiv stilnykovoho zviazku ta radiotekhnichnykh system blyzkhnoi navihatsii z urakhuvanniam dosvidu u zoni provedennia ATO. Problemy navihatsii i upravlinnia rukhom : zb. tez. dop. vseukr. nauk.-prakt. konf. mol. uchen. i stud., m. Kyiv, 23-25 lyst. 2015 r. Kyiv, 2015. S. 94. <http://ian.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2016/07/sbornik.pdf>.
- 6. Makarov S. A.,** Liebidiev V.O. Analiz zabezpechennia elektromahnitnoi sumisnosti novitnikh zasobiv stilnykovoho zviazku ta radiotekhnichnykh system zabezpechennia polotiv derzhavnoi aviatsii. Novitni tekhnologii – dlia zakhystu povitrianoho prostoru : zb. tez dop. XII nauk. konf. Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl im. I. Kozheduba. Kharkiv: KhUPS im. I. Kozheduba, 2016. S. 200.
- 7. Makarov S. A.,** Liebidiev V. O., Sokol O. O. Problema elektromahnitnoi sumisnosti pry vprovadzhenni systemy rukhomoho zviazku chetvertoho pokolinnia v smuzi chastot 790 – 862 MHz. Novitni tekhnologii – dlia zakhystu povitrianoho prostoru : zb. tez dop. XIII nauk. konf. Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl im. I. Kozheduba. Kharkiv: KhNUPS im. I. Kozheduba, 2017. S. 246-247. <http://www.hups.mil.gov.ua/nauka/konferencii-kursantiv-ta-studentiv/trinadvata-naukova-konferenciya-24-25-travnya-2017-roku>.
- 8. Makarov S. A.,** Liebidiev V. O., Vysotskyi O. V. Problema elektromahnitnoi sumisnosti pry vprovadzhenni v Ukraini merezh radiotekhnologii chetvertoho pokolinnia LTE 800. Problemy elektromahnitnoi sovместymosti perspektivnykh besprovodnykh setei sviaty (EMS-2017) : sb. nauch. tr. vtor. mezhdun. nauchno-tekhnykh. konf. Kharkov: KhNURE, 2017. S. 31-34.
- 9. Liebidiev V.O.,** Kostenko I.L., Pozdniak V.P., Pavlichenko O.A. Problema elektromahnitnoi sumisnosti pry vprovadzhenni v Ukraini merezh radiotekhnologii LTE u smuhakh chastot 880...915 MHz ta 925...960 MHz. Problemy elektromahnitnoi sovместymosti perspektivnykh besprovodnykh setei svyazy (EMS-2018) : sb. nauch. tr. vtor. mezhdun. nauchno-tekhnykh. konf. Kharkov: KhNURE, 2018. S. 5-8. <https://nure.ua/wp-content/uploads/workshop/ems-2018.pdf>.
- 10. Liebidiev V. O.,** Makarov S. A., Vysotskyi O. V. Analiz elektromahnitnoi sumisnosti smuhy chastot 790-862 MHz na terytorii Ukrainy dlia vprovadzhennia merezhi mobilnoho zviazku za tekhnologii LTE. Radiotekhnika. 2017. № 3(190). S. 22-25. <http://rt.nure.ua/article/view/179988>.
- 11. Niziienko B. I.,** Yukhnovskyi S.A., Makarov S.A. Aspekty udoskonalennia systemy upravlinnia protypovitrianoi oboronoii Ukrainy. Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy. 2017. № 1(26). S. 17-20. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.03>.
- 12. Turinskyi O. V.,** Dzeverin I.H., Demidov B.O., Hryb D.A., Khmelevska O.O. Analiz mozhyvosti vykorystannia pozytyvnoho svitovoho dosvidu dlia obgruntuvannia i realizatsii planiv i proham rozvytku systemy ozbroennia protypovitrianoi oborony. Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl. – 2020. – № 1(63). – S. 7-16. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.63.01>.
- 13. Krilov Ye.** Perspektivi rozvitiya radiolokatsionnikh stantsii vooruzhennykh sil inostrannykh gosudarstv. Zarubezhnoe voennoe obozrenie. 2018. № 2. S. 37-40.
- 14. Makarov S. A.,** Moskovchenko I. V., Liebidiev V. O., Pavlichenko O. A. Doslidzhennia umov elektromahnitnoi sumisnosti radioelektronnykh zasobiv povitrianoi rukhomoi y radiolokatsiinoi sluzhb ta zasobiv trankinhovoho zviazku u smuzi chastot 136...174 MHz. Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy. 2017. № 4(29). S. 48-53. <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/journal/nitps/2017/4>.
- 15. Stepanov H. S.,** Liebidiev V. O., Pavlenko M. A. Udoskonalennia metodu analizu mizhsystemnoi elektromahnitnoi sumisnosti uhrupuvannia viiskovoi tekhniki povitrianoi radionavihatsiinoi sluzhby ta radioelektronnykh zasobiv merezhi rukhomoho zviazku za tekhnologii LTE na osnovi dekompozitsii ta superpozitsii chastotnoho spektru vyrominiuvanoho shyrokosmuhovoho skladovoho syhnalu. Trudy universytetu. 2018. № 5(150). S. 56-67.
16. Kovalenko I. H. Metodyka analizu obiektovi elektromahnitnoi sumisnosti zasobiv zviazku. Zbirnyk naukovykh prats VITI NTUU „KPI”. 2013. № 2. S. 28-33.
- 17. Kovalenko I. H.** Metodyka analizu elektromahnitnoi sumisnosti zasobiv radiozviazku fiksovanoi radiosluzhby spetsialnoho pryznachennia. Zbirnyk naukovykh prats VITI NTUU „KPI”. 2014. № 1. S. 21-29. http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2014/zb_1501.pdf.
- 18. Kovalenko I. H.** Metodyka analizu elektromahnitnoi sumisnosti zasobiv radiozviazku rukhomoi radiosluzhby spetsialnoho pryznachennia. Zbirnyk naukovykh prats VITI NTUU „KPI”. 2015. № 1. S. 35-41. http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2015/2_1_2015.pdf.
- 19. Kovalenko I. H.,** Bryhadyr S. P., Maznychenko Yu. A. Metodyka analizu elektromahnitnoi sumisnosti zasobiv radiozviazku spetsialnoho pryznachennia. Zbirnyk naukovykh prats VITI NTUU „KPI”. 2016. № 1. S. 71-80. http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2016/3_1_2016.pdf.
- 20. Kovalenko I. H.,** Malykh V.V., Makarchuk V.I. Zahalna metodyka ta alhorytm rozrakhunku elektromahnitnoi sumisnosti radioelektronnykh zasobiv. Zbirnyk naukovykh prats VITI NTUU „KPI”. 2020. № 2. S. 17-27. http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2020/2_2_2020.pdf.
- 21. Buzov A. L.** Upravlenie radiochastotnim spektrom i elektromagnitnaya sovместimost radiosistem : monografiya / pod redaktsiei M. A. Bikhovskogo. Moskva : Eko-Trendz, 2006. 376 s.
- 22. Recommendation ITU-R P.341-5.** The concept of transmission loss for radio links. URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/md/12/sg03/rp/R12-SG03-RP-1002!!MSW-E.docx.
- 23. Reglament radiosvyazi.** URL: <https://docs.cntd.ru/document/565737147>.