УДК 621.391.82. (024)

В.В. Воронін, О.Ф. Галицький, О.О. Звєрєв, А.С. Кирилюк

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

ПРОБЛЕМИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РЛС ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З СУЧАСНИМИ СИСТЕМАМИ ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ КОНВЕРСІЇ ЧАСТОТНИХ ДІАПАЗОНІВ РОБОТИ

В статті розглядається аналіз впливу сигналу TDMA на роботу приймального пристрою РЛС 9С15 з метою електромагнітної сумісності РЛС військового призначення з сучасними системами зв'язку WiMAX IEE 802.16-2004 в умовах конверсії частотних діапазонів роботи. За отриманими результатами розрахунку норм частотно-територіального рознесення в даному випадку встановлено: взаємна відстань при однакових несучих частотах – більше 120 км; взаємна відстань при рознесенні частот на 15 МГц – більше 45 км; взаємне рознесення частот при любих дистанціях – більше 24 МГц.

Ключові слова: *радіолокаційна станція, системи зв'язку, електромагнітна сумісність, смуга частот, спектр сигналу.*

Вступ

Постановка проблеми. Проблема електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів виникла з появою радіоелектроніки. Неможливо займатися проектуванням, побудовою і експлуатацією радіоелектронних засобів (РЕЗ) різного призначення без урахування умов їх електромагнітної сумісності (ЕМС).

В теперішній час в умовах старіння радіолокаційного озброєння і суттєвого скорочення Збройних Сил постає питання передачі використовуваних ними частотних діапазонів для вирішення як державних так і комерційних завдань (встановлення нових сучасних систем зв'язку, розвиток телебачення і т.п.).

Для побудови радіотехнічних систем (РТС) різного призначення використовується практично весь діапазон радіохвиль. Використання того чи іншого діапазону радіочастот для систем різного призначення регламентовано міжнародною комісією розподілу радіочастот (МКРР). Ці обмеження впливають на вибір радіосигналу і побудови радіосистем, що взагалі впливає на її тактико-технічні характеристики (ТТХ). Кращих характеристик виявлення (точність визначення координат цілі, розрізнювальна здатність) та менших габаритних розмірів розкриву антени можна досягти при збільшенні частоти зондувального сигналу. Але умови розповсюдження радіохвиль (їх затухання в атмосфері) накладають на це обмеження. Найбільш привабливим діапазоном частот для РТС є діапазон 1,5 – 7 ГГц (рис. 1).

Практично у всьому вказаному діапазоні частот використовуються радіолокаційні станції (РЛС) розвідки та цілевказування і РЛС наведення ракет Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил України.

Це пов'язано з:

– незначним затуханням електромагнітних хвиль при розповсюдженні у просторі;

– низьким рівнем зовнішніх шумів;

– малими габаритними розмірами апертур антен, що забезпечує мобільність РЛС;

– забезпеченням високої розрізнювальної здатності РЛС і точності визначення координат повітряних цілей.

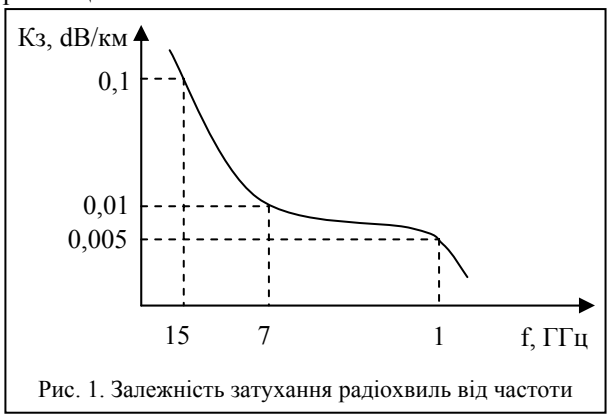

Рис. 1. Залежність затухання радіохвиль від частоти

В останній час широко застосовуються новітні стандарти систем зв'язку.

Одним з таких нових стандартів є стандарт широкосмугового доступу WiMAX IEE 802.16-2004. Цей стандарт передбачає розділення частотного діапазону, який виділяється, на ряд канальних інтервалів. Канали зв'язку використовують технологію багатоканального доступу з часовим розподілом каналів (TDMA) [5, 6].

З аналізу ТТХ зразків озброєння, що знаходяться на озброєнні ЗРВ ПС, видно, що при роботі системи зв'язку WiMAX можливий її вплив на РЛС 9С15М. Сигнал, що використовується даною системою зв'язку, є для даної РЛС активною нестаціонарною шумовою завадою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. РЛС 9С15 є трикоординатною когерентно-імпульсною

© В.В. Воронін, О.Ф. Галицький, О.О. Звєрєв, А.С. Кирилюк

станцією з послідовним оглядом простору як за кутом місця (електронне з використанням фазованої антенної решітки), так і за азимутом (механічне). Вона забезпечує виявлення та автоматичне вимірювання у сферичній системі трьох координат цілей (β, ε, D) [4].

Захист РЛС від дії прицільних завад здійснюється за рахунок автоматичної перебудови несучої частоти на одну з 6 реалізованих (з 8 конструктивно можливих) фіксованих робочих частот зондування. Несуча частота зондування вибирається:

1) призначенням частоти ручним способом (оператор);

2) вибором частоти цифровою обчислювальною системою (ЦОС) за випадковим законом (рівномірним);

3) вибором частоти алгоритмами ЦОС (шляхом аналізу завадової обстановки).

Другий і третій режими - основні режими воєнного часу. Частота зондування може знаходитися в будь-якій частині відведеного частотного діапазону (рис. 2).

У якості зондувальних сигналів використовуються сигнали з лінійною частотною модуляцією. Середня частота зондувальних сигналів може змінюватися в межах діапазону (рис. 3). Девіація частоти зондувального сигналу складає 5 МГц, а смуга пропускання приймального пристрою 6 Мгц.

Виходячи з аналізу рис. 2 та 3 маємо смугу частот, яка забезпечує нормальну роботу РЛС для електромагнітної сумісності сусідніх частотних каналів, і як результат мінімальну вільну смугу частот між зондувальними сигналами на частотах f_5 та f_6.

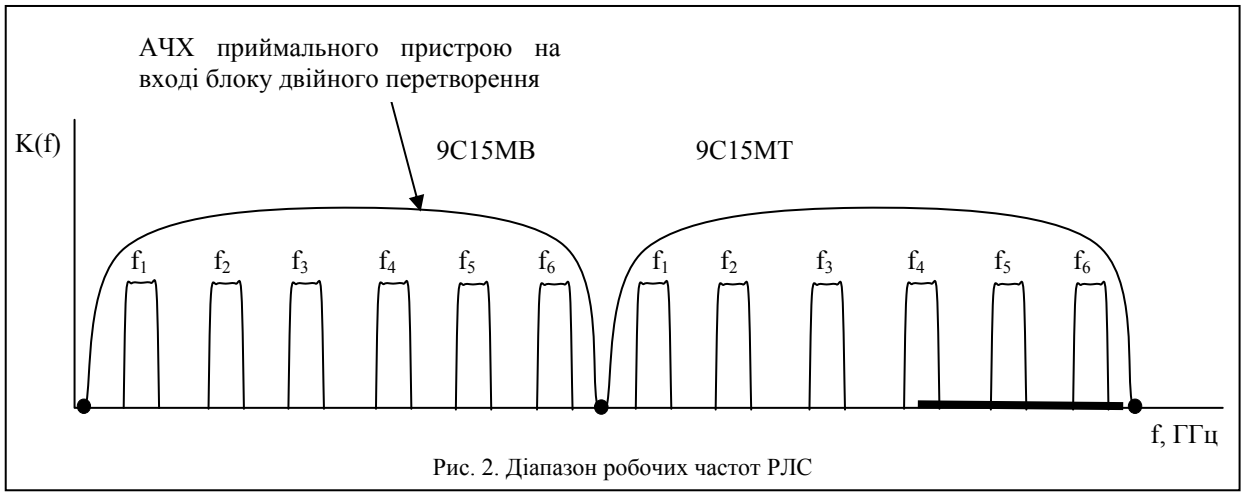

Рис. 2. Діапазон робочих частот РЛС

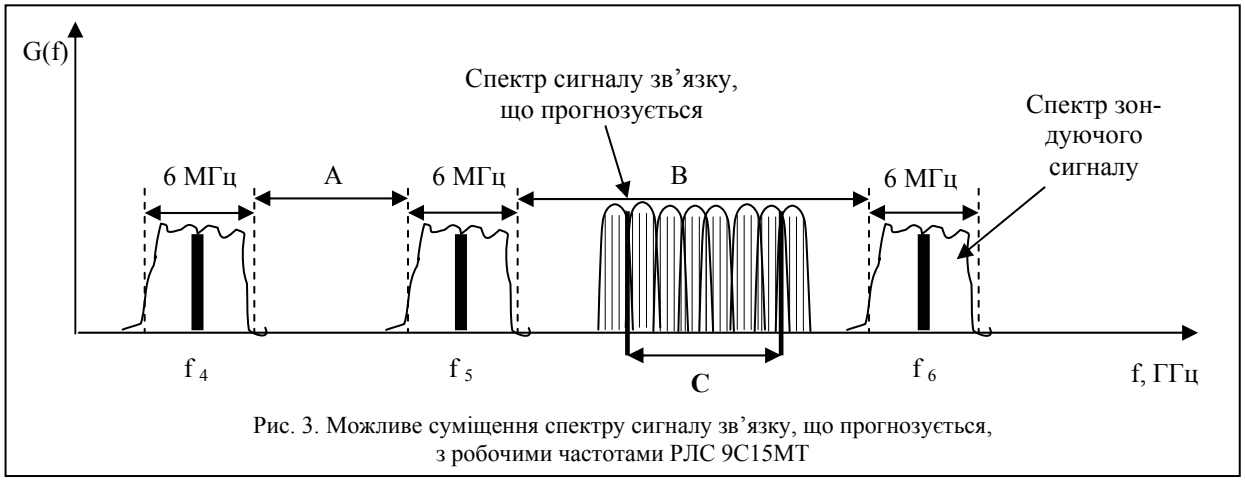

Рис. 3. Можливе суміщення спектру сигналу зв'язку, що прогнозується, з робочими частотами РЛС 9С15МТ

Аналізуючи стандарт WiMAX IEE 802.16-2004 [5, 6], можна зазначити, що він уявляє собою новий стандарт широкосмугового доступу.

Цей стандарт передбачає розділення частотного діапазону, який виділяється, на ряд канальних інтервалів. Канали зв'язку використовують технологію багатоканального доступу з часовим розподілом каналів (TDMA).

Ширина канального інтервалу визначається часом передачі інформації та методом модуляції, що використовується, і складає 10 або 5 Мгц.

Частотний спектр сигналу визначається структурою інформації, що передається по каналам.

Вигляд спектру сигналу зображений на рис. 4, 5, а параметри спектру наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри спектру системи зв'язку

Рознесення між каналами, МГц	A	B	C	D
10	4,75	5,25	9,75	14,75
5	2,375	2,625	4,875	7,375

У залежності від призначення подібні системи можуть мати потужність передавального пристрою від одиниць до десятків Ват.

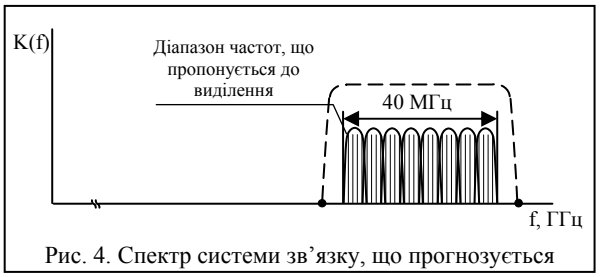

Рис. 4. Спектр системи зв'язку, що прогнозується

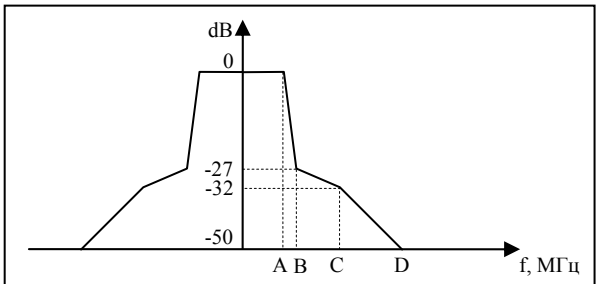

Рис. 5. Сумарний спектр системи зв'язку

Система будується за мережевим принципом (рис. 6), об'єднуючи різні рівні. Відстань між базовою і абонентською станціями складає близько 5 км, а між базовими – близько 15 км.

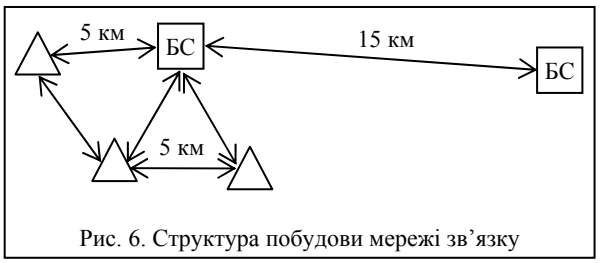

Рис. 6. Структура побудови мережі зв'язку

Система працює у дуплексному режимі безперервно за часом, тому часове рознесення з радіоелектронними засобами даного діапазону частот неможливе.

Таким чином, сигнал, що використовується даною системою зв'язку є для РЛС цього частотного діапазону активною нестаціонарною шумовою завадою.

Мета статті – проаналізувати вплив сигналу TDMA на роботу приймального пристрою РЛС 9С15 з точки зору електромагнітної сумісності РЛС військового призначення з сучасними системами зв'язку WiMAX IEE 802.16-2004 в умовах конверсії частотних діапазонів роботи.

Основний матеріал

Аналізуючи роботу приймального пристрою РЛС 9С15 можна побачити можливість прийому сигналу TDMA по основному та побічних каналах прийому.

Сигнал системи зв'язку може впливати на РЛС як широтно-імпульсна завада по основному каналу прийому, що призведе:

1) до зниження ефективності використання штатних систем захисту від активних завад;

Це викликано істотною нестаціонарністю сигналу TDMA. У РЛС 9С15 захист від активних завад, прийнятих по бокових пелюстках діаграми спрямованості антени, здійснюється з застосовуванням квадратурного автокомпенсатора, де використовується стаціонарний сигнал для аналізу впливу завади з метою компенсації її впливу. Вплив нестаціонарних активних завад значно погіршує якість роботи автокомпенсатора, що призводить до неможливості виявлення корисного сигналу на фоні завади. Вплив активної завади показано на рис. 7.

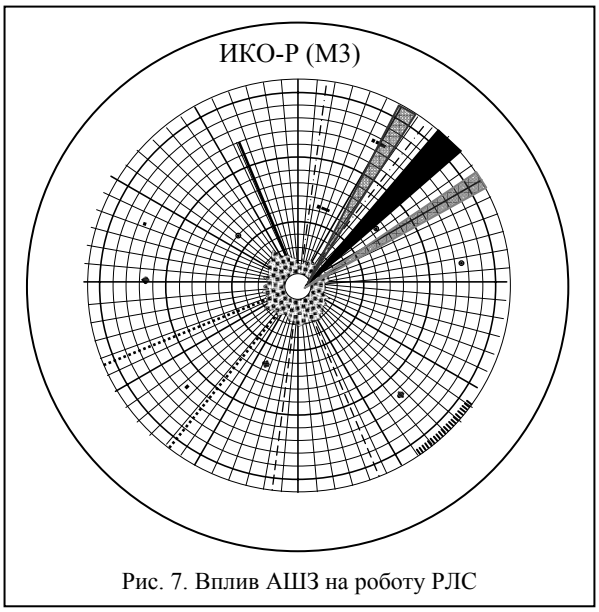

Рис. 7. Вплив АШЗ на роботу РЛС

2) до погіршення імовірнісних характеристик виявлення цілі.

Це в першу чергу пов'язано з тим, що при попаданні суміші сигналу від цілі та сигналу TDMA у приймальний пристрій РЛС по основному та компенсаційному каналах збільшується загальний рівень шумів. Це призводить до збільшення імовірності хибної тривоги і зменшення імовірності правильного виявлення, що в свою чергу зменшить дальність виявлення цілей та призведе до збільшення кількості хибних цілей.

Використавши методику розрахунку норм частотно-територіального рознесення запропоновану в [2, 3] отримали наступні результати (рис. 8, 9).

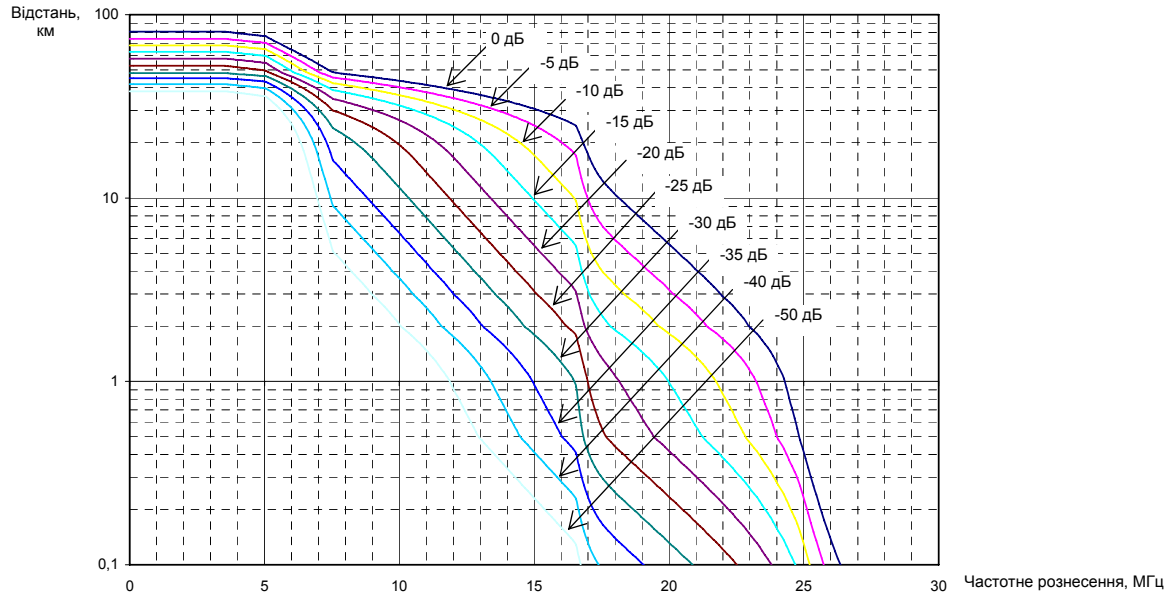

Рис. 8. Вплив РЛС 9С15 на приймач системи зв'язку

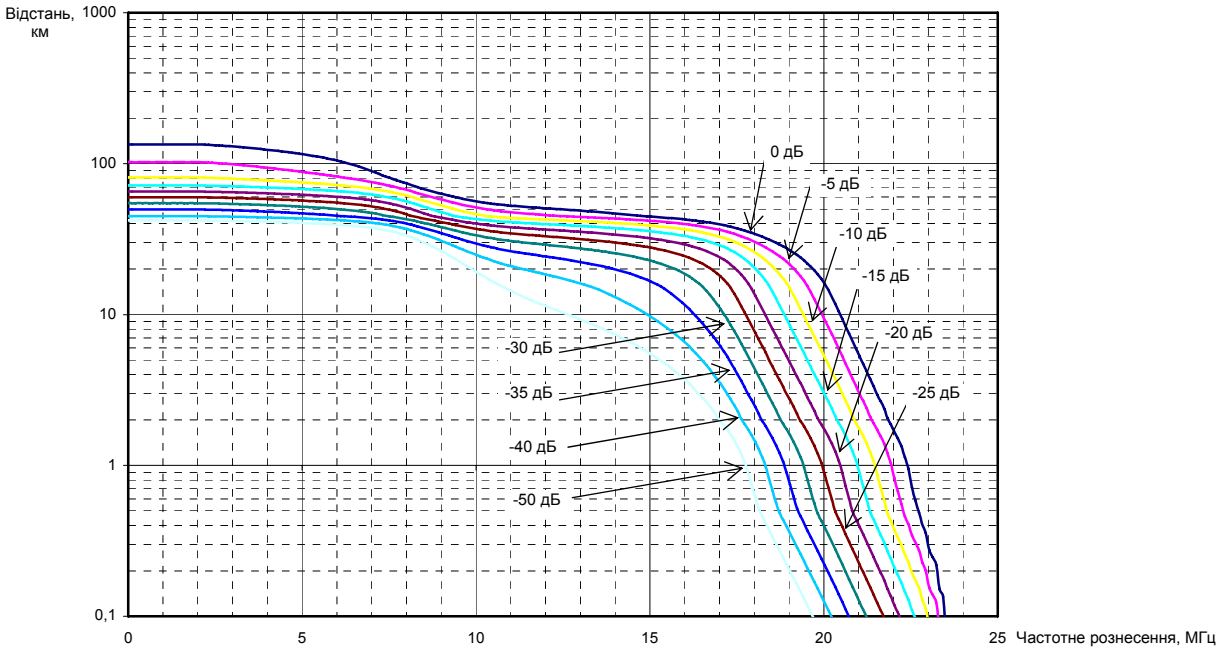

Рис. 9. Вплив базової станції стандарту WiMAX на РЛС 9С15

Розрахунок проводився з використанням таких характеристик РЛС 9С15:

– коефіцієнт підсилення антени – 9000;

– ширина діаграми спрямованості антени – $1{,}5^{o}\times1{,}5^{o}$;

– потужність передавача (імпульсна) – 320÷800 кВт;

– девіація частоти ЛЧМ сигналу – 5 Мгц;

– чутливість приймального пристрою – $(5\ldots6)\cdot10^{-14}$ Вт;

– смуга пропускання приймального пристрою – 6 Мгц.

З аналізу отриманих результатів взаємного впливу між станціями РЛС 9С15 та базовою станцією системи зв'язку стандарту WiMAX IEE 802.16-2004 можна зробити висновок, що їх взаємний вплив виключається за таких умов:

– взаємна відстань при однакових несучих частотах – більше 120 км;

– взаємна відстань при рознесенні частот на 15 МГц – більше 45 км;

– взаємне рознесення частот при любих дистанціях – більше 24 МГц.

Висновки

1. Для забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) необхідно провести просторове та частотне рознесення. У випадку невиконання даних умов сигнал шумової структури системи зв'язку проходить на обробку до приймального пристрою РЛС, що може привести до зменшення розміру зони виявлення, підвищення кількості хибних цілей на екранах індикаторів і ін.

2. За отриманими результатами розрахунку норм частотно-територіального рознесення в даному випадку встановлено:

- взаємна відстань при однакових несучих частотах – більше 120 км;
- взаємна відстань при рознесенні частот на 15 МГц – більше 45 км;
- взаємне рознесення частот при любих дистанціях – більше 24 МГц.

3. Для визначення можливості сумісної роботи системи зв'язку WIMAX та станцій розвідки 9С15 (або інших РЛС) різної модифікації з дотриманням теоретично обгрунтованих обмежень пов'язаних з ЕМС необхідно провести натурний експеримент. При проведенні натурного експерименту технічні характеристики системи зв'язку WIMAX повинні відповідати заявленим виробником, які були використані при розрахунку норм частотно-територіального розносу.

Список літератури

1. Петровский В.И., Седельников Ю.Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1986. – 216 с.

2. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем / Под ред. Н.М. Царькова. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.

3. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Под. ред. Ю.А. Феоктистова. – М.: Радио и связь, 1988. – 216 с.

4. Буйских Н.В., Варич В.В. Устройство РЛС разведки 9С15М. – Смоленск: Смоленское ВЗРИУ, 1990. – 88 с.

5. Salvekar A., Sandhu S., Li Q., Vuong M., Qian X. Multiple-Antenna Technology in WiMAX Systems // Intel Technology Journa. – 2004. – Vol. 08. – 360 p.

6. Wang F., Ghosh A., Love R., Stewart K. et.al. IEEE 802.16e System Performance-Analysis and Simulation Results // Proc. of PIMRC. – Berlin (Germany). – 2005. – 380 p.

Надійшла до редколегії 29.04.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.О. Демідов, Науковий центр Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РЛС ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С СОВРЕМЕННЫМИ СИСТЕМАМИ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ КОНВЕРСИИ ЧАСТОТНЫХ ДИАПАЗОНОВ РАБОТЫ

Воронин В.В., Галицкий О.Ф., Зверев А.А., Кириллюк А.С.

Рассматривается анализ влияния сигнала TDMA на работу приемного устройства РЛС 9С15 с целью электромагнитной совместимости РЛС военного назначения с современными системами связи WiMAX IEE 802.16-2004 в условиях конверсии частотных диапазонов работы. По полученным результатам расчета норм частотно территориального распределения в данном случае установлено: взаимное расстояние при одинаковых несущих частотах – больше 120 км; взаимное расстояние при распределении частот на 15 Мгц – больше 45 км; взаимное распределение частот при любых дистанциях – больше 24 Мгц.

Ключевые слова: *радиолокационная станция, системы связи, электромагнитная совместимость, полоса частот, спектр сигнала.*

PROBLEMS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY RLS OF MILITARY PURPOSE WITH MODERN COMMUNICATION NETWORKS IN THE CONDITIONS OF CONVERSION FREQUENCY RANGES WORK

Voronin V.V., Galitcky O.F., Zverev A.A., Kirillyuk A.S.

Is considered analysis of the influence of the signal TDMA on work receiving device RLS 9S15 with the purpose of electromagnetic compatibility RLS of military purpose with modern communications network WiMAX IEE 802.16-2004 in condition of the conversions frequency range work. On the got results of calculation of norms frequency territorial distributing it is set in this case: mutual distance at identical bearings frequencies is a more than 120 km; mutual distance at distributing of frequencies on 15 Mhz – more than 45 km; the mutual distributing of frequencies at any distances is more than 24 Mhz.

Keywords: *radio-location station, communication networks, electromagnetic compatibility, bar of frequencies, spectrum of signal.*