

Розвиток, бойове застосування та озброєння радіотехнічних військ

УДК 681.396

С.А. Макаров, І.В. Московченко, В.О. Лебедєв, О.А. Павліченко

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОЇ РУХОМОЇ Й РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СЛУЖБ ТА ЗАСОБІВ ТРАНКІНГОВОГО ЗВ'ЯЗКУ У СМУЗІ ЧАСТОТ 136...174 МГц

У роботі проводиться дослідження електромагнітної сумісності між радіоелектронними засобами повітряної рухомої та радіолокаційної служб з радіоелектронними засобами транкінгового зв'язку у смузі частот 136...174 МГц для їх сумісного беззавадового функціонування, що безпосередньо впливає на забезпечення належного рівня безпеки польотів. Наведений математичний апарат для визначення умов електромагнітної сумісності між радіоелектронними засобами, що представлені. Обґрунтовується необхідність визначення можливості сумісного використання засобів повітряної рухомої та радіолокаційної служб Повітряних Сил Збройних Сил України із радіоелектронними засобами (РЕЗ) транкінгового зв'язку іноземного виробництва.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, радіоелектронні засоби, повітряна рухома служба, радіолокаційна служба, транкінговий зв'язок.

Вступ

Постановка проблеми. Основною метою дослідження є визначення умов електромагнітної сумісності (ЕМС) між радіоелектронними засобами повітряної рухомої й радіолокаційної служб та засобами транкінгового зв'язку у смузі частот 136...174 МГц для їх сумісного беззавадового функціонування, що безпосередньо впливає на забезпечення належного рівня безпеки польотів.

Тому задача із дослідження умов ЕМС між радіоелектронними засобами повітряної рухомої та радіолокаційної служб з радіоелектронними засобами транкінгового зв'язку є актуальною і дозволить вирішити проблему ЕМС між радіоелектронними засобами повітряної рухомої й радіолокаційної служб та засобами транкінгового зв'язку у смузі частот 136...174 МГц.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз засобів радіозв'язку, що перебувають на озброєнні у Повітряних Силах Збройних Сил України (далі засоби радіозв'язку, що перебувають на озброєнні), показав, що існуючі засоби виробництва Радянського Союзу, як по відповідності елементної бази, так і по критеріям мобільності не у повному обсязі відповідають вимогам сьогодення [1]. Також треба прийняти до уваги той факт, що виробництво більшої частки елементів засобів радіозв'язку, що перебувають на озброєнні, розташовано у Російській Федерації. Тому у Повітряних Силах про-

водиться робота щодо визначення можливості сумісного використання засобів повітряної рухомої та радіолокаційної служб Повітряних Сил Збройних Сил України із радіоелектронними засобами (РЕЗ) транкінгового зв'язку іноземного виробництва [2].

Виклад основного матеріалу

Методи досліджень – методи системного аналізу та дослідження операцій при аналізі параметрів електромагнітної сумісності (ЕМС) РЕЗ; методи частотного та енергетичного аналізу, методи парної та групової оцінки ЕМС.

Смуга радіочастот 108...144 МГц виділена для повітряної рухомої служби і використовується наземними та бортовими радіоелектронними засобами (РЕЗ) для управління повітряним рухом.

Смуга радіочастот 144...174 МГц виділена для радіолокаційної служби і використовується радіолокаційними станціями (РЛС) для вирішення задач протиповітряної оборони [3].

Бортові засоби авіаційного радіозв'язку призначені для прийому та передачі інформації у каналах зв'язку (літальний апарат – пункт управління, пункт управління – літальний апарат, літальний апарат – наземні об'єкти радіотехнічного забезпечення польотів авіації, літальний апарат – літальний апарат). До бортових засобів авіаційного радіозв'язку належать ультракороткохвильові (УКХ) та короткохвильові (КХ) радіостанції.

У складі бригади тактичної авіації для забезпечення польотів авіації застосовується засоби радіозв'язку, що працюють в діапазоні частот від 100 МГц до 150 МГц [4].

Наземні засоби авіаційного радіозв'язку призначені для прийому та передачі інформації у каналах зв'язку (літальний апарат – пункт управління, пункт управління – пункт управління, пункт управління – наземні об'єкти радіотехнічного забезпечення польотів авіації). До наземних засобів авіаційного радіозв'язку належать наземні стаціонарні УКХ та КХ радіостанції, переносні УКХ радіостанції.

Радіолокаційні станції Повітряних Сил Збройних Сил України призначені для виявлення літальних апаратів у повітрі, визначення їх поточних координат та державної приналежності, забезпечення пунктів управління радіолокаційною інформацією та працюють у смузі частот 144...174 МГц [5–7].

Засоби транкінгового зв'язку Mototrbo, які застосовуються у Збройних Сил України, працюють у діапазоні частот 136...174 МГц.

Транкінгові системи (англ. Trunking – об'єднання в пучок) – радіально-зонові системи зв'язку, що здійснюють автоматичний розподіл каналів зв'язку між абонентами. Під терміном “транкінг” маємо на увазі метод доступу абонентів до загального виділеного числа (пучка) каналів, при якому вільний канал виділяється абоненту на час сеансу зв'язку [8–10].

Число каналів, у загальному випадку, визначається каналною ємністю базової станції (ретранслятора).

У стандарті Mototrbo базові станції не використовуються, елементами системи транкінгового зв'язку є абонентські станції (автомобільні та портативні) та ретранслятор (один або декілька).

Основне призначення системи – забезпечення оперативного телефонного зв'язку (час встановлення з'єднання менше 300 мс) з можливістю передачі коротких текстових повідомлень та невеликих файлів (швидкість передачі близько 1,8 кбіт/с).

Комплект радіозв'язку MOTOTRBO призначений для організації радіозв'язку абонентської групи на обмеженій території з можливістю технічного маскування мови (скремблювання), ведення індивідуального, групового і загального радіообміну з використанням ретранслятора і без його використання [11–12].

Вирішення задачі забезпечення EMC між радіоелектронними засобами повітряної рухомої й радіолокаційної служб із засобами транкінгового зв'язку складається з частотного та енергетичного аналізу характеристик радіоелектронних засобів транкінгового зв'язку та радіоелектронних засобів повітряної рухомої та радіолокаційної служб, а та-

кож розробка на підставі їх результатів організаційно-технічних заходів забезпечення EMC [13–14].

Частотний аналіз впливу випромінювання радіоелектронних засобів транкінгового зв'язку на радіоелектронних засобів повітряної рухомої та радіолокаційної служб.

Частотний аналіз є початковим етапом розрахункової оцінки електромагнітної сумісності (ЕМС) і включає визначення частотних каналів проникнення неприпустимих завад у радіоприймальний пристрій, а також визначення міри детальності подальшого аналізу з урахуванням енергетичних характеристик РЕЗ, що аналізуються, та їх розташування в просторі. Пара радіоелектронних засобів, один з яких є передавачем, а другий – приймачем, вважаються потенційно несумісними, якщо в результаті проведеного частотного аналізу виявлено хоч один з каналів проникнення завад. Процес виявлення частотних каналів включає попередню частотно-енергетичну оцінку та аналіз частотних збігів.

При встановленні факту частотних збігів пари РЕЗ здійснюється пошук каналів впливу радіозавад. Відомо, що побічний канал прийому в супергетеродинному приймачі в загальному випадку має місце, коли виконується умова за виразом (1):

$$m \cdot f_{\text{ПК}} + n \cdot f_{\Gamma}^{(1)} = f_{\text{ПЧ}}^{(1)}, \quad (1)$$

де $f_{\text{ПК}}$ – частота побічного каналу прийому; $f_{\Gamma}^{(1)}$ – частота гетеродина; $f_{\text{ПЧ}}^{(1)}$ – проміжна частота радіоприймача;

$n = \pm(0, 1, 2, 3, \dots, n_{\text{max}})$ – порядковий номер частоти гетеродина радіоприймача;

$m = \pm(1, 2, 3, \dots, m_{\text{max}})$ – порядковий номер побічного каналу прийому.

Енергетичний аналіз впливу випромінювання РЕЗ транкінгового зв'язку на РЕЗ повітряної рухомої та радіолокаційної служб.

Якщо в ході частотного аналізу виявляються потенційно несумісні РЕЗ, а також кількість каналів їх проникнення, то енергетичний аналіз дозволяє визначити, які саме з відібраних у ході частотного аналізу пар РЕЗ, є сумісними і який “запас” їх сумісності, а які несумісні.

Розрахунок енергетичних характеристик неприпустимих завад, що визначають завадову обстановку у будь-якій точці простору, передбачає визначення потужності неприпустимої завади на вході приймача РЕЗ (з урахуванням її проникнення через антену).

При парній оцінці EMC потужність неприпустимої завади на вході приймача обчислюється за виразом (2):

$$P_{ij} = P_j \cdot G_j \cdot G_i \cdot \frac{c_0^2}{(4\pi \cdot f_{j\Pi} \cdot r_0)^2} \cdot \prod_v k_v, \quad (2)$$

де r_0 – базова відстань, яка дорівнює одному метру;

k_v – v -й коефіцієнт послаблення дії неприпустимої завади;

$f_{j\Pi}$ – частота неприпустимої завади, що створюється j -м радіопередавальним пристроєм.

Розрахунок умов ЕМС РЕЗ повітряної рухомої та радіолокаційної служб і РЕЗ транкінгового зв'язку у смузі радіочастот 136...174 МГц являє собою порядок визначення частотного та територіального рознесення між ними відповідно до чинного законодавства України.

Розрахунок умов ЕМС РЕЗ є невід'ємною складовою частиною вирішення завдання забезпечення ЕМС РЕЗ. Перевірці виконання умов ЕМС РЕЗ передують попередня оцінка ЕМС РЕЗ. Ця оцінка здійснюється на засаді частотного та енергетичного аналізу.

Умови ЕМС розробляються для потенційно несумісних типів РЕЗ і використовуються для визначення ступеню впливу неприпустимої радіозавади (НРЗ) на якість функціонування РЕЗ, розробки заходів для попередження впливу НРЗ та оцінки ефективності заходів із забезпечення ЕМС РЕЗ. Вони розраховуються для найбільш несприятливих з позицій ЕМС умов спільного функціонування РЕЗ: найгірші режими роботи, мінімально можливий рівень корисного сигналу на вході приймача РЕЗ – об'єкта впливу НРЗ.

Розрахунок умов ЕМС полягає у визначенні для кожного s -го каналу проникнення НРЗ, виявленого на етапі попередньої оцінки ЕМС аналізованих типів РЕЗ, необхідного рознесення по частоті Δf_s для різних значень відстаней РЕЗ r_{ij} і варіантів взаємної орієнтації діаграм спрямованості антен θ , при яких виконується детермінований критерій ЕМС РЕЗ вираз (3):

$$P_{\text{пр } ijs}(\Delta f_s, r_{ij}, \theta) \leq P_{\text{доп } is}, \quad (3)$$

де $P_{\text{пр } ijs}(\Delta f_s, r_{ij}, \theta)$ – потужність для кожного s -го каналу проникнення НРЗ від передавача j -го типу, приведена до входу приймача i -го типу, дБ/Вт;

$P_{\text{доп } is}$ – допустиме значення потужності для кожного s -го каналу проникнення НРЗ на вході приймача i -го типу у разі впливу на нього випромінювання передавача j -го типу, дБ/Вт.

За необхідності підвищення точності розрахунку частотного рознесення допускається використання чисельних методів, заснованих на обчисленні характеристики частотної вибіркової приймача і спектра випромінювання передавача.

Результати розрахунку представляються у формі графіків, що характеризують умови ЕМС для кожної пари: приймач i -го РЕЗ – передавач j -го РЕЗ [15].

Умови ЕМС портативних радіостанцій DP4400 (DP4800) комплекту радіозв'язку MOTOTRBO та РЛС 1РЛ131 наведені на рис. 1.

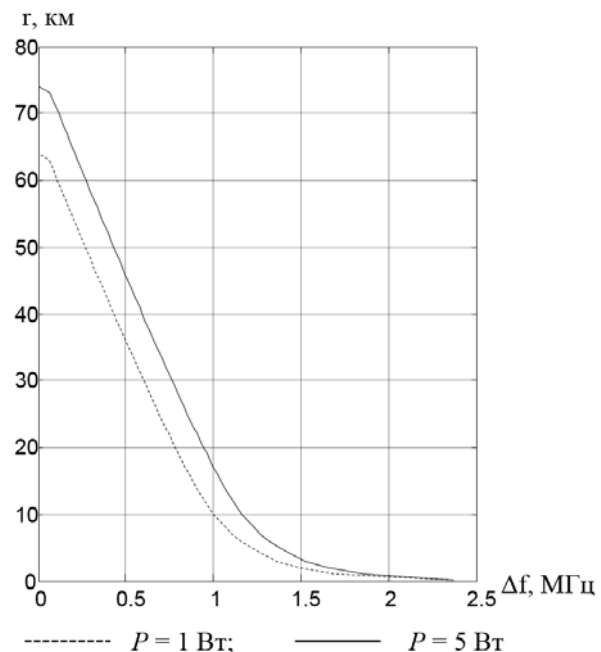


Рис. 1. Залежність частотного рознесення Δf між передавачем радіостанції та приймальним пристроєм РЛС 1РЛ131 від відстані між ними r . Потужність (P) передавача радіостанції DP4400 (DP4800) комплекту радіозв'язку MOTOTRBO: 1 Вт; 5 Вт.

На даний час РЛС 1РЛ131 використовується для радіолокаційного забезпечення польотів державної авіації, тому завади (пасивні або активні) будуть безпосередньо впливати на рівень безпеки польотів.

При розрахунку умов ЕМС припускалось: рівень завад протягом не більше 1 % часу може перевищувати максимально припустиме значення, що задовольняє вимогам ЕМС; поширення радіохвиль здійснюється над рівнинною місцевістю у пригородній зоні в літні місяці.

Залежності необхідного частотно-територіального рознесення між РЕЗ повітряної рухомої й радіолокаційної служб та РЕЗ транкінгового зв'язку визначені виходячи із забезпечення вимог їх ЕМС. При цьому використовуються наступні позначення:

r – відстань між антеною передавального пристрою джерела завади та антеною приймального пристрою визначеного РЕЗ, км;

Δf – частотне рознесення між робочою частотою передавального пристрою джерела завади та робочою частотою приймального пристрою визначеного РЕЗ, МГц.

Для отримання частотного рознесення між середніми частотами джерела завади та приймального пристрою РЕЗ до Δf потрібно додати половину ши-

рини смуги частот одного каналу стандарту транкінгового зв'язку.

Для використання графіків умов ЕМС для визначення величини територіального рознесення необхідно величину вибраного рознесення по частоті відкласти по осі Δf і провести перпендикуляр до перетину з необхідною кривою, а по осі Γ , навпроти місця перетину, зняти значення необхідного територіального рознесення.

Для визначення величини рознесення по частоті при відомій відстані між РЕЗ перпендикуляр проводиться від осі Γ , а значення рознесення по частоті знімаються на осі Δf .

З аналізу залежності, наведеної на рис. 1, можна зробити наступні висновки: при розності частот 0 МГц відстань між визначеними РЕЗ в залежності від поту-

жності складає 64–75 км; при розності частот на 1 МГц – відстань становить 10–18 км, а при розності частот більше ніж 2,4 МГц взаємний вплив відсутній.

Висновки

Результати визначення умов ЕМС між радіоелектронними засобами повітряної рухомої й радіолокаційної служб та засобами транкінгового зв'язку у смузі частот 136...174 МГц для забезпечення належного рівня безпеки польотів дозволяють органам управління Повітряних Сил Збройних Сил України спланувати організаційно-технічні заходи щодо забезпечення умов ЕМС між військовою технікою повітряного радіозв'язку і радіолокаційного забезпечення польотів державної авіації та РЕЗ транкінгового зв'язку у смузі частот 136...174 МГц.

Список літератури

1. 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. – Харків: ХУПС, 2006. – Вип. 3(52). – С. 89-93.
2. Макаров С.А. Удосконалення моделей взаємодії радіотехнічної системи ближньої навігації та мережі цифрового стільникового радіозв'язку стандарту GSM-900 / С.А. Макаров, В.О. Лебедєв, О.В. Висоцький, П.М. Гриценко // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2014. – Вип. 1(117). – С. 191-195.
3. Василишин В.І. Стан та перспективи розвитку телекомунікаційних систем спеціального призначення / В.І. Василишин, В.В. Лютов, В.Д. Луняка, С.Л. Бутенко, А.К. Сулов // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Харків: ХНУПС, 2017. – Вип. 4(53). – С. 66-70.
4. Розорінов Г.М. Аналіз електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів рухомої служби радіозв'язку для частотних присвоєнь / Г.М. Розорінов, С.В. Лазаренко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2016. – №1. – С. 14-19.
5. Нізієнко Б.І. Аспекти удосконалення системи управління протиповітряною обороною України / Б.І. Нізієнко, С.А. Юхновський, С.А. Макаров // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 1(26). – С. 17-20.
6. Ярош С.П. Аналіз перспективи інтеграції систем розвідки, управління і зв'язку для вирішення завдань протиповітряної оборони / С.П. Ярош // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2010. – № 2(4). – С. 113-118.
7. Юхновський С.А. Часткова методика оцінки відповідності системи зв'язку потребам визначеної системи управління протиповітряною обороною / С.А. Юхновський, О.П. Кулик, І.Л. Костенко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2(27). – С. 124-126.
8. Roland Butler. The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting / Roland Butler // Südwestrundfunk. International Spectrum Management. – Stuttgart, Germany, 2012. – 141 p.
9. Technical Parameters and Planning Algorithms for T-DAB Coverage Calculations, June 2011, Document Number DAB/1, Version 1.0, 7 June 2011, Produced by ARQIVA BBC OFCOM. – 14 p.
10. Wayne W. Huang. Global Mobile Commerce: Strategies, Implementation, and Case Studies / Wayne W. Huang, Yingluo Wang, John. – Information Science Reference, Hershey, New York, 2008. – 456 p.
11. Загорка О.М. Особливості та принципи побудови мережецентричної системи управління угруповання військ (сил) / О.М. Загорка, В.В. Коваль, В.В. Тюрін, В.Г. Малюга, І.О. Загорка // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Харків: ХНУПС, 2016. – Вип. 3(48). – С. 7-11.
12. Посібник з використання радіостанцій серії MOTOTRBO. – Київ: Генеральний штаб Збройних Сил України, 2015.
13. Коваленко І.Г. Методика аналізу об'єктової електромагнітної сумісності засобів зв'язку / І.Г. Коваленко // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ”, 2013. – №2. – С. 28-33.
14. Коваленко І.Г. Методика аналізу електромагнітної сумісності засобів радіозв'язку спеціального призначення / І.Г. Коваленко, С.П. Бригадир, Ю.А. Мазніченко // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ”, 2016. – №1. – С. 71-80.
15. 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 МГц), а також у смугах радіочастот, які плануються для застосування за результатами конверсії. – Київ: Адміністрація державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України, 2015.

References

1. Makarov, S.A., Pozdnjak, V.P. and Dukin, G.Y. (2016), “Analiz elektromagnitnoi sumisnosti radioelektronnykh zasobiv v umovakh vprovadzhennia v Ukraini tsyfrovoho movlennia” [Analysis of electromagnetic compatibility of radio-electronic biv v umovakh vprovadzhennia v Ukraini tsyfrovoho movlennia”]

means in conditions of implementation of digital broadcasting in Ukraine], *Information processing systems*, No. 3(52), KNAFU, Kharkiv, pp. 89-93.

2. Makarov, S.A., Lebedev, V.O., Vysockiy, O.V. and Gricenko, P.M. (2014), "Udoskonalennia modelei vzaiemodii radiotekhnichnoi systemy blyzhnoi navihatsii ta merezhi tsyfrovoho stilnykovoho radiozviazku standartu GSM-900" [Improvement of interaction models of near-navigation radiotechnical system and GSM-900 digital cellular radio network], *Information processing systems*, No. 1(117), KNAFU, Kharkiv, pp. 191-195.

3. Vasylishin, V.I., Ljutov, V.V., Lunjaka, V.D., Butenko, S.L. and Suslov, A.K. (2017), "Stan ta perspektyvy rozvytku telekomunikatsiinykh system spetsialnoho pryznachennia" [Status and prospects of development of special purpose telecommunication systems], *Collection of scientific works of Kharkiv National University of Air Forces*, No. 4(53), KNAFU, Kharkiv, pp. 66-70.

4. Rozorinov, G.M. and Lazarenko, S.V. (2016), "Analiz elektromahnitnoi sumisnosti radioelektronnykh zasobiv rukhomoi sluzhby radiozviazku dlia chastotnykh prysvoien" [Electromagnetic compatibility analysis of radio-electronic means of mobile radio service for frequency assignments], *Scientific notes of the Ukrainian Research Institute of Communication*, No. 1, pp. 14-19.

5. Nizienko, B.I., Yuhnovskiy, S.A. and Makarov, S.A. (2017), "Aspekty udoskonalennia systemy upravlinnia protypovitrianoi oboronoii Ukrainy" [Aspects of the improvement of the air defense control system of Ukraine], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 1(26), pp. 17-20.

6. Yarosh, S.P. (2010), "Analiz perspektyvy intehtatsii system rozvidky, upravlinnia i zviazku dlia vyrishennia zavdan protypovitrianoi oborony" [Analysis of the prospect of integration of intelligence, control and communications systems for the solution of the tasks of air defense], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2(4), pp. 113-118.

7. Yuhnovskiy, S.A., Kulik, O.P. and Kostenko, I.L. (2017), "Chastkova metodyka otsinky vidpovidnosti systemy zviazku potrebam vyznachenoi systemy upravlinnia protypovitrianoi oboronoii" [Partial technique for assessing the conformity of a communication system to the needs of a certain air defense control system], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2(27), pp. 124-126.

8. Roland Btutler (2012), *The Digital Dividend of Terrestrial Broadcasting*, *Südwestrundfunk. International Spectrum Management*, Stuttgart, Germany, 141 p.

9. Technical Parameters and Planning Algorithms for T-DAB Coverage Calculations (2011), Document Number DAB/1, Version 1.0, 7 June 2011, Produced by ARQIVA BBC OFCOM, 14 p.

10. Wayne W. Huang, Yingluo Wang, John Day (2008), *Global Mobile Commerce: Strategis, Implementation, and Case Studies*, Information Science Reference, Hershey, New York, 456 p.

11. Zagorka, O.M., Koval, V.V., Tjurin, V.V., Maljuga, V.G. and Zagorka, I.O. (2016), "Osoblyvosti ta pryntsyipy pobudovy merezhetsentrychnoi systemy upravlinnia uhrupovannia viisk (syl)" [Features and principles of building a network-centered system of grouping troops (forces)], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 3(48), KNAFU, Kharkiv, pp. 7-11.

12. General Staff of the Armed Forces of Ukraine (2015), "Posibnyk z vykorystannia radiostantsii serii MOTOTRBO" [MOTOTRBO series radio guide], Kyiv.

13. Kovalenko, I.G. (2013), "Metodyka analizu ob'ektovoi elektromahnitnoi sumisnosti zasobiv zviazku" [Method of analysis of object electromagnetic compatibility of communication facilities], *Collection of scientific works of VITI NTUU "KPI"*, No. 2, pp. 28-33.

14. Kovalenko, I.G., Brigadir, S.P. and Maznichenko, Y.A. (2016), "Metodyka analizu elektromahnitnoi sumisnosti zasobiv radiozviazku spetsialnoho pryznachennia" [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.

15. Administration of the State Service for Special Communications and Information Protection of Ukraine (2015), "Metodyka provedennia rozrakhunkiv elektromahnitnoi sumisnosti ta normy chastotno-terytorialnoho roznesennia radioelektronnykh zasobiv u smuhakh radiochastot, yaki pidlihaiut konversii (1920-1935/2110-2125, 1950-1965/2140-2155, 1965-1980/2155-2170 MHz), a takozh u smuhakh radiochastot, yaki planuiutsia dlia zastosuvannia za rezultatsy konversii" [The method of conducting calculations of electromagnetic compatibility and the norms of frequency-territorial separation of radio-electronic devices in the band of radio frequencies subject to conversion (1920-1935 / 2110-2125, 1950-1965 / 2140-2155, 1965-1980 / 2155-2170 MHz), and also in radio frequency bands that are planned to be used for conversion results], Kyiv.

Надійшла до редколегії 3.10.2017

Схвалена до друку 16.11.2017

Відомості про авторів:

Макаров Сергій Анатолійович

кандидат технічних наук доцент
начальник кафедри Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4708-5449>
e-mail: makarov_sergei@ukr.net

Information about the authors:

Makarov Sergij

Candidate of Sciences Assistant Professor
Head of Department of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4708-5449>
e-mail: makarov_sergei@ukr.net

Московченко Ілларіон Валерійович

кандидат технічних наук
науковий співробітник Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7058-0691>
e-mail: larry_green@ukr.net

Moskovchenko Illarion

Candidate of Sciences
Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7058-0691>
e-mail: larry_green@ukr.net

Лебедев Віталій Олександрович

старший викладач Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6552-4599>
e-mail: levital742@gmail.com

Lebedev Vitaly

Senior Lecturer of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6552-4599>
e-mail: levital742@gmail.com

Павліченко Олександр Андрійович

науковий співробітник Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0305-9991>
e-mail: olexa_2017@ukr.net

Pavlichenko Oleksandr

Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0305-9991>
e-mail: olexa_2017@ukr.net

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ
ВОЗДУШНОЙ ПОДВИЖНОЙ И РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЛУЖБ И СРЕДСТВ ТРАНКИНГОВОЙ СВЯЗИ
В ПОЛОСЕ ЧАСТОТ 136 ... 174 МГц**

С.А. Макаров, И.В. Московченко, В.А. Лебедев, А.А. Павличенко

В статье изложены результаты исследования электромагнитной совместимости между радиоэлектронными средствами воздушной подвижной и радиолокационной служб с радиоэлектронными средствами транкинговой связи в полосе частот 136 ... 174 МГц для их совместного функционирования без помех, что непосредственно влияет на обеспечение надлежащего уровня безопасности полетов. Приведен анализ занятости и состояния использования полосы радиочастот 108 ... 174 МГц радиоэлектронных средств специальных пользователей и радиоэлектронных средств транкинговой связи иностранного производства. Математический аппарат, который предоставляется в статье, позволяет определить условия электромагнитной совместимости между определенными радиоэлектронными средствами. Обосновывается необходимость определения возможности совместного использования средств воздушной подвижной и радиолокационной служб Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины с радиоэлектронными средствами транкинговой связи иностранного производства. Полученные числовые и графические результаты целесообразно использовать для обеспечения надлежащего уровня безопасности полетов при планировании организационно-технических мероприятий по обеспечению условий электромагнитной совместимости между военной техникой воздушной радиосвязи и радиолокационного обеспечения полетов государственной авиации и радиоэлектронными средствами транкинговой связи в полосе частот 136 ... 174 МГц.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, радиоэлектронные средства, воздушная подвижная служба, радиолокационная служба, транкинговая связь.

**INVESTIGATION OF THE CONDITIONS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF RADIOELECTRONIC
MEANS OF AIR MOBILE AND RADAR SERVICES AND TRUNKING COMMUNICATION FACILITIES
IN THE FREQUENCY BAND 136 ... 174 MHz**

S. Makarov, I. Moskovchenko, V. Lebedev, O. Pavlichenko

The article presents the results of an investigation of electromagnetic compatibility between radio-electronic means of the air mobile and radar services with radio electronic means of trunking communication in the frequency band 136 ... 174 MHz for their joint functioning without interference, which directly affects the maintenance of an appropriate level of safety of flights. The analysis of employment and the state of use of the radio frequency band 108 ... 174 MHz of radio electronic facilities of special users and radio electronic means of trunking communication of foreign manufacture is given. The mathematical apparatus, which is provided in the article, makes it possible to determine the conditions for electromagnetic compatibility between certain radio electronic facilities. The necessity of determining the possibility of joint use of the air mobile and radar services of the Air Force of Ukraine with electronic means of trunking communication of foreign manufacture is substantiated. The obtained numerical and graphical results may be used to ensure an appropriate level of flight safety during planning organizational and technical measures to ensure the conditions of electromagnetic compatibility between military aircraft radio communication equipment and radar support for state aviation flights and radio electronic means of trunking communication in the frequency band 136 ... 174 MHz.

Keywords: electromagnetic compatibility, radio electronic means, air mobile service, radar service, trunking communication.