С.А. Макаров, О.М. Чекунова, О.П. Ковальчук, С.В. Селезньов

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

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ МІЖ РАДІОЕЛЕКТРОННИМИ ЗАСОБАМИ ПОВІТРЯНОЇ ТЕЛЕМЕТРІЇ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ ТА ЗАСОБАМИ ЗАГАЛЬНИХ КОРИСТУВАЧІВ У СМУЗІ ЧАСТОТ 1427-1532 МГц

У роботі проведено аналіз нормативно-правових документів у сфері використання радіочастотного спектру України. Для проведення оцінки й прогнозування електромагнітної сумісності РЕЗ стандарту LTE із засобами повітряної телеметрії Збройних Сил України та засобами цифрового звукового мовлення стандарту T-DAV проаналізовано діапазони робочих частот РЕЗ стандарту LTE з метою визначення смуг частот сумісного використання як загальними, так і спеціальними користувачами. У визначених смугах частот проаналізовано перелік військової техніки повітряної телеметрії Збройних Сил України, які використовують та потребують захисту від небажаних завад, створюваних випромінюванням РЕЗ стандарту LTE. Визначено необхідність досліджень удосконалення моделі множинної взаємодії РЕЗ стандарту LTE та засобів повітряної телеметрії Збройних Сил України і засобів цифрового звукового мовлення стандарту T-DAV на міжсистемному рівні для визначення найгірших умов їх взаємодії.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, радіоелектронні засоби, загальні користувачі, спеціальні користувачі, повітряна телеметрія, цифрове звукове мовлення, мережа мобільного зв'язку.

Вступ

Постановка проблеми. В Україні з кожним роком спостерігається тенденція перевантаження радіочастотного спектру внаслідок розвитку радіотехнологій, збільшення кількості радіозасобів як загального, так і спеціального призначення. Провайдери цифрового стільникового зв'язку, які використовують радіоелектронні засоби (РЕЗ) технології LTE належають на державному рівні на необхідності перерозподілу радіочастотного спектру України.

На теперішній час в Україні користувачами досліджуваного діапазону частот 1427–1532 МГц є РЕЗ повітряної телеметрії Збройних Сил України (ЗСУ) та засоби цифрового звукового мовлення стандарту T-DAV за класифікацією Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ). РЕЗ повітряної телеметрії відносяться до спеціальних користувачів (СК) та працюють на первинній основі. Відповідно [1] пріоритет у використанні частотного спектру в Україні надається СК. Тому постає актуальною задача забезпечення якісного функціонування РЕЗ СК у спільних та суміжних діапазонах радіочастот із РЕЗ загальних користувачів (ЗК). Для вирішення цієї задачі виникає необхідність застосовувати методи та методики прогнозування електромагнітної обстановки та аналізу електромагнітної сумісності (ЕМС).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Публікації [1–2; 20] є нормативно-правовими документами у сфері використання радіочастотного спектру України. Регламент радіозв'язку [20] є ос-

новним документом Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ), що визначає порядок використання будь-якого радіопристрою, який працює на території будь-якої з країн-членів МСЕ, умови використання радіочастот окремими радіослужбами в різних районах світу.

В роботах [3; 5–11] розглянуто проблему ЕМС в досліджуваних частотних діапазонах при впровадженні в Україні мереж стандарту LTE. У публікації [4] розглянуто шляхи підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу шляхом покращення частотної вибіркової радіолокаційних систем посадки, які використовуються в Повітряних Силах (ПС) ЗСУ.

У статті [12] проводиться дослідження ЕМС між РЕЗ повітряної рухомої та радіолокаційної служб з РЕЗ транкінгового зв'язку у смузі частот 136–174 МГц для їх сумісного беззавадового функціонування, що безпосередньо впливає на забезпечення належного рівня безпеки польотів. Обґрунтовується необхідність визначення можливості сумісного використання засобів повітряної рухомої та радіолокаційної служб ПС ЗСУ із РЕЗ транкінгового зв'язку іноземного виробництва.

У роботах [13–19] запропоновані методики аналізу ЕМС, що призначені для визначення можливого взаємного впливу групи РЕЗ радіозв'язку як фіксованої, так і рухомої радіослужб спеціального призначення. Запропоновані методики базуються на рекомендаціях Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ). Особливістю розроблених методик є їх оріє-

нтація на практичну реалізацію для отримання комплексного вирішення задачі аналізу ЕМС засобів радіозв'язку.

Аналіз останніх публікацій дозволяє стверджувати про актуальність теми, яка обумовлена швидкоплинним перевантаженням радіочастотного спектру України, як наслідок, необхідністю визначення умов сумісного використання РЕЗ ЗК і СК на основі аналізу їх ЕМС.

Мета статті. Проаналізувати та визначити потенційно несумісних типів РЕЗ повітряної телеметрії ЗСУ із засобами цифрового звукового мовлення стандарту T-DAB і мереж мобільного зв'язку стандарту LTE у смузі частот 1427 – 1532 МГц.

Виклад основного матеріалу

Стрімкий розвиток та впровадження систем мобільного зв'язку четвертого покоління, яке пов'язане з використанням радіочастотного спектру України, може привести до невідомого впливу РЕЗ стандарту LTE на засоби повітряної телеметрії, що знаходяться на озброєнні ПС ЗСУ та засоби цифрового звукового мовлення стандарту T-DAB цивільного призначення [1]. Розглянемо смуги радіочастот, які визначені нормативно-правовими документами для впровадження мереж мобільного зв'язку стандарту LTE в Україні.

Для впровадження системи мобільного зв'язку четвертого покоління на всесвітньому рівні визначено частотні діапазони, які наведені у табл. 1 [2].

Таблиця 1

Діапазони робочих частот РЕЗ стандарту LTE

Номер діап. (band)	Діапазон робочих частот UL, МГц MC	Діапазон робочих частот DL, МГц BC	Режим
1	1920 – 1980	2110 – 2170	FDD
2	1850 – 1910	1930 – 1990	FDD
3	1710 – 1785	1805 – 1880	FDD
4	1710 – 1755	2110 – 2155	FDD
5	824 – 849	869 – 894	FDD
6	830 – 840	875 – 885	FDD
7	2500 – 2570	2620 – 2690	FDD
8	880 – 915	925 – 960	FDD
9	1749,9 – 1784,9	1844,9 – 1879,9	FDD
10	1710 – 1770	2110 – 2170	FDD
11	1427,9 – 1447,9	1475,9 – 1495,9	FDD
12	699 – 716	729 – 746	FDD
13	777 – 787	746 – 756	FDD
14	788 – 798	758 – 768	FDD
15	Резерв	Резерв	FDD
16	Резерв	Резерв	FDD
17	704 – 716	734 – 746	FDD
18	815 – 830	860 – 875	FDD
19	830 – 845	875 – 890	FDD

Закінчення табл. 1

Номер діап. (band)	Діапазон робочих частот UL, МГц MC	Діапазон робочих частот DL, МГц BC	Режим
20	832 – 862	791 – 821	FDD
21	1447,9 – 1462,9	1495,9 – 1510,9	FDD
22	3410 – 3490	3510 – 3590	FDD
23	2000 – 2020	2180 – 2200	FDD
24	1626,5 – 1660,5	1525 – 1559	FDD
25	1850 – 1915	1930 – 1995	FDD
26	814 – 849	859 – 894	FDD
27	807 – 824	852 – 869	FDD
28	703 – 748	758 – 803	FDD
29	Не визначено	717 – 728	FDD
30	2305 – 2315	2350 – 2360	FDD
31	452,5 – 457,5	462,5 – 467,5	FDD
32	Не визначено	1452 – 1496	FDD
33	1900 – 1920	1900 – 1920	TDD
34	2010 – 2025	2010 – 2025	TDD
35	1850 – 1910	1850 – 1910	TDD
36	1930 – 1990	1930 – 1990	TDD
37	1910 – 1930	1910 – 1930	TDD
38	2570 – 2620	2570 – 2620	TDD
39	1880 – 1920	1880 – 1920	TDD
40	2300 – 2400	2300 – 2400	TDD
41	2496 – 2690	2496 – 2690	TDD
42	3400 – 3600	3400 – 3600	TDD
43	3600 – 3800	3600 – 3800	TDD
44	703 – 803	703 – 803	TDD
45	1447 – 1467	1447 – 1467	TDD
46	5150 – 5925	5150 – 5925	TDD
47	5855 – 5925	5855 – 5925	TDD
48	3550 – 3700	3550 – 3700	TDD
49	3550 – 3700	3550 – 3700	TDD
50	1432 – 1517	1432 – 1517	TDD
51	1427 – 1432	1427 – 1432	TDD
52	3300 – 3400	3300 – 3400	TDD
65	1920 – 2010	2110 – 2200	FDD
66	1710 – 1780	2110 – 2200	FDD
67	Не визначено	738 – 758	FDD
68	698 – 728	753 – 783	FDD
69	Не визначено	2570 – 2620	FDD
70	1695 – 1710	1995 – 2020	FDD
71	663 – 698	617 – 652	FDD
72	451 – 456	461 – 466	FDD
73	450 – 455	460 – 465	FDD
74	1427 – 1470	1475 – 1518	FDD
75	Не визначено	1432 – 1517	FDD
76	Не визначено	1427 – 1432	FDD
85	698 – 716	728 – 746	FDD
87	410 – 415	420 – 425	FDD
88	412 – 417	422 – 427	FDD

Джерело: [2].

Застосування засобів повітряної телеметрії, що знаходяться на озброєнні ЗСУ, обмежує розвиток та впровадження сучасних новітніх технологій, спрямованих на розвиток національної інформаційної інфраструктури. У розвинених державах спостерігається тенденція сумісного використання радіочастотного спектру, як ЗК, так і СК.

Розподіл смуг радіочастотного спектру між радіоелектронними засобами на Україні регламентований Національною таблицею розподілу смуг радіочастот України [1]. Радіоелектронні засоби поділяються на РЕЗ ЗК та РЕЗ СК. При цьому смуги, що використовуються сумісно, передбачають надання пріоритетності радіослужбам (на первинній та вторинній основі).

Радіослужба, розподіл радіочастот якої зроблено на первинній основі, може вимагати захисту від негативного впливу випромінювання РЕЗ такої ж та інших радіослужб. Радіослужба, розподіл радіочастот якої зроблено на вторинній основі:

- може вимагати захисту від негативного впливу випромінювання РЕЗ такої ж та інших радіослужб, яким ці частоти розподілені на вторинній основі;

- не повинна створювати завад та вимагати захисту від негативного впливу випромінювання РЕЗ радіослужб, яким розподіл цих частот зроблений на первинній основі.

Застосування РЕЗ СК у смугах радіочастот загального користування здійснюється, у разі необхідності, за узгодженням відповідних частотних присвоєнь з Національною комісією, що здійснює регулювання у сфері зв'язку та інформатизації (НКРЗІ).

Відповідно до примітки У093 Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України (НТРСРЧ) смуги частот розподілені між радіослужбами згідно табл. 2.

Для потреб СК відповідно примітки У093 смуга радіочастот 1525 – 1530 МГц додатково розподілена у рухомій супутниковій службі.

У зазначених смугах РЕЗ ЗК не повинні створювати завад роботі РЕЗ СК. РЕЗ СК не повинні створювати завад роботі РЕЗ ЗК, якщо інші умови не визначені у разі погодження з Генеральним штабом ЗСУ.

Таблиця 2

Витяг з Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України

Смуга радіочастот	Застосовувана радіослужба
1427 – 1429 МГц	СЛУЖБА КОСМІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ (Земля -космос), РУХОМА, за винятком повітряної рухомої ФІКСОВАНА;

Закінчення табл. 2

Смуга радіочастот	Застосовувана радіослужба
1429 – 1452 МГц	ФІКСОВАНА РУХОМА, за винятком повітряної рухомої ПОВІТРЯНА РУХОМА
1452 – 1492 МГц	ФІКСОВАНА РУХОМА, за винятком повітряної рухомої РАДІОМОВНА СУПУТНИКОВА ПОВІТРЯНА РУХОМА
1492 – 1518 МГц	ФІКСОВАНА РУХОМА, за винятком повітряної рухомої ПОВІТРЯНА РУХОМА
1518 – 1525 МГц	ФІКСОВАНА РУХОМА, за винятком повітряної рухомої РУХОМА СУПУТНИКОВА (космос - Земля) ПОВІТРЯНА РУХОМА
1525 – 1530 МГц	СЛУЖБА КОСМІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ (космос - Земля) ФІКСОВАНА РУХОМА СУПУТНИКОВА (космос - Земля) Супутникова служба дослідження Землі Рухома, за винятком повітряної рухомої ПОВІТРЯНА РУХОМА
1530 – 1535 МГц	ПОВІТРЯНА РУХОМА СЛУЖБА КОСМІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ (космос - Земля) РУХОМА СУПУТНИКОВА (космос - Земля) Супутникова служба дослідження Землі Фіксована Рухома, за винятком повітряної рухомої

Джерело: [1].

Особливості застосування смуги радіочастот 1427 – 1532 МГц, яка використовується засобами повітряної телеметрії, визначені Постановою Кабінету Міністрів України від 9 червня 2006 р. № 815 зі змінами № 1263 від 16.12.2020 "Про затвердження Плану використання радіочастотного ресурсу України" (далі – План використання РЧР України), де конкретизовані (уточнені) умови використання смуг, номіналів частот для впровадження мереж РЕЗ за стандартом четвертого покоління LTE.

На теперішній час, діючими радіотехнологіями в Україні є [2]:

- у смузі радіочастот від 1427 – 1451,5 МГц, 1477 – 1497,5 МГц: широкосмуговий радіодоступ; ФІКСОВАНА (пункт 24 Розділу I Плану використання РЧР України);

- у смузі радіочастот від 1525 – 1559 МГц: безпроводове забезпечення заходів загальнодержав-

ного або міжнародного рівня; ФІКСОВАНА СУПУТНИКОВА, РУХОМА СУПУТНИКОВА (пункт 52.1 Розділу I Плану використання РЧР України).

Радіотехнології, які застосовуються СК:

- у смузі радіочастот від 1525 – 1559 МГц: ультракороткохвильовий радіозв'язок; ПОВІТРЯНА РУХОМА (пункт 55 Розділу I Плану використання РЧР України);

- у смузі радіочастот від 400 – 1433 МГц: радіолокація; РАДІОЛОКАЦІЙНА (пункт 57 Розділу I Плану використання РЧР України);

- у смузі радіочастот від 1497,5 – 1710 МГц: радіорелейний зв'язок; РУХОМА (пункт 61 Розділу I Плану використання РЧР України);

- у смузі радіочастот від 1500 – 15000 МГц: супутниковий радіозв'язок; РУХОМА СУПУТНИКОВА (пункт 64 Розділу I Плану використання РЧР України).

Перспективними для впровадження радіотехнологіями, які плануються для застосування ЗК є:

- у смугах радіочастот від 1452 – 1479,5 МГц цифрове наземне радіомовлення стандарту T-DAV; РАДІОМОВНА (видача ліцензій на користування радіочастотним ресурсом із використанням зазначеної радіотехнології разом із можливістю використання інших радіотехнологій у конкретних смугах у межах зазначених смуг радіочастот проводиться на конкурсних або тендерних засадах за умови їх вивільнення існуючими користувачами та за результатами відповідних досліджень (пункт 3 Розділу II Плану використання РЧР України) [2].

Аналіз смуги радіочастот 1427–1532 МГц, визначеної для впровадження мереж рухомого (мобільного) зв'язку технології LTE, показує, що він вже використовується РЕЗ повітряної телеметрії ЗСУ.

Основна частка радіочастотного спектру для надання послуг операторами телекомунікацій за стандартом LTE (band 11, band 21, band 24, band 32, band 45, band 50, band 51, band 74, band 75, band 76 таблиці 1) на даний час використовується засобами повітряної телеметрії, що потребує проведення теоретичних та практичних досліджень для визначення умов ЕМС з РЕЗ СК для забезпечення їх сумісного беззавадового функціонування.

На підставі приміток 5.341А та 5.342 Частини I Регламенту радіозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку ITU RR-2020 [20] стосовно використання радіочастотного спектру мереж технології LTE визначено перелік рухомих служб, які можуть використовувати визначену смугу та потребують дослідження їх ЕМС з РЕЗ систем мобільного зв'язку технології LTE. Витяг з примітки 5.341А RR-2020 [20]: В Районе 1 полосы частот 1427–1452 МГц и 1492–1518 МГц определены для использования административными, желающими внедрить Междуна-

родную подвижную электросвязь (ИМТ) в соответствии с Резолюцией 223 (Пересм. ВКР-19). Данное определение не препятствует использованию этих полос частот каким-либо другим применением служб, которым они распределены, и не устанавливает приоритета в Регламенте радиосвязи. Использование станций ИМТ осуществляется при условии получения согласия в соответствии с п. 9.21 в отношении воздушной подвижной службы, используемой для воздушной телеметрии в соответствии п. 5.342 (ВКР-15).

Витяг з примітки 5.342 RR-2020 [20]: *Дополнительное распределение*: в Армении, Азербайджане, Беларуси, Российской Федерации, Узбекистане, Кыргызстане и Украине полоса частот 1429–1535 МГц распределена также воздушной подвижной службе на первичной основе исключительно для воздушной телеметрии в пределах национальной территории (ВКР-15).

У смузі радіочастот від 1427 МГц до 1532 МГц працюють такі РЕЗ повітряної телеметрії:

- наземні радіолокаційні запитувачі типу 71Е6, 73Е6, 76Е6, 1Л22, 1Л23, 1Л24;

- літаковий радіолокаційний запитувач типу 6231;

- літакові радіолокаційні відповідачі типу 6201, 6202.

Висновки

В статті на основі аналізу нормативно-правових документів у сфері використання радіочастотного спектру України та аналізу діапазонів робочих частот засобів повітряної телеметрії ЗСУ і РЕЗ мобільного зв'язку стандарту LTE визначено потенційно несумісні типи РЕЗ повітряної телеметрії ЗСУ із засобами цифрового звукового мовлення стандарту T-DAV і мереж мобільного зв'язку стандарту LTE у смузі частот 1427 – 1532 МГц, а саме:

- наземні радіолокаційні запитувачі типу 71Е6, 73Е6, 76Е6, 1Л22, 1Л23, 1Л24;

- літаковий радіолокаційний запитувач типу 6231;

- літакові радіолокаційні відповідачі типу 6201, 6202 і базові станції та абонентські термінали мереж мобільного зв'язку стандарту LTE (band 74).

Визначення та прогнозування умов ЕМС між РЕЗ повітряної телеметрії ЗСУ та засобами цифрового звукового мовлення стандарту T-DAV і мережами мобільного зв'язку за технологією LTE у смузі частот 1427 – 1532 МГц РЕЗ при їх впровадженні в Україні у спільних смугах частот потребує у подальшому удосконалення моделі множинної взаємодії РЕЗ LTE та РЕЗ повітряної телеметрії ЗСУ, а також засобами цифрового звукового мовлення стандарту T-DAV на міжсистемному рівні для визначення найгірших умов їх взаємодії відповідно.

Список літератури

1. Про затвердження Національної таблиці розподілу смуг радіочастот України : Постанова Кабінету Міністрів України від 15 груд. 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 черв. 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.
4. Макаров С. А. Підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу шляхом покращення частотної вибіркової радіолокаційних систем посадки. *Системи обробки інформації*. 2012. № 9(107). С. 46-49. URL: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/journal/soi/2012/9> (дата звернення 12.08.2021).
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.
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* : зб. 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* : зб. тез доп. XIII наук. конф. Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. Харків : ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2017. С. 246-247. URL: <http://www.hups.mil.gov.ua/nauka/konferencii-kursantiv-ta-studentiv/trinadcyata-naukova-konferenciya-24-25-travnya-2017-roku> (дата звернення 12.08.2021).
8. Макаров С. А., Лебедев В. О., Висоцький О. В. Проблема електромагнітної сумісності при впровадженні в Україні мереж радіотехнології четвертого покоління LTE 800. *Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (ЭМС-2017)* : сб. науч. тр. втор. междунар. 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. *Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (ЭМС-2018)* : сб. науч. тр. втор. междунар. научно-технич. конф. Харьков : ХНУРЕ, 2018. С. 5-8. URL: <https://nure.ua/wp-content/uploads/workshop/ems-2018.pdf> (дата звернення 12.08.2021).
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. URL: <http://rt.nure.ua/article/view/179988> (дата звернення 12.08.2021).
11. 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 транкінгового зв'язку у смузі частот 136...174 МГц. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2017. № 4(29). С. 48-53. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.29.06>.
12. 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 широкосмугового складового сигналу. *Труди університету*. 2018. № 5(150). С. 56-67.
13. Коваленко І. Г. Методика аналізу об'єктові електромагнітної сумісності засобів зв'язку. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2013. № 2. С. 28-33.
14. 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. URL: http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2014/zb_1501.pdf (дата звернення 12.08.2021).
15. 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. URL: http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2015/2_1_2015.pdf (дата звернення 12.08.2021).
16. Коваленко І. Г., Бригадир С. П., Мазніченко Ю. А. Методика аналізу електромагнітної сумісності засобів радіозв'язку спеціального призначення. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2016. № 1. С. 71-80. URL: http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2016/3_1_2016.pdf.
17. Коваленко І. Г., Малих В. В., Макачук В. І. Загальна методика та алгоритм розрахунку електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. 2020. № 2. С. 17-27. URL: http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2020/2_2_2020.pdf (дата звернення 12.08.2021).
18. Бузов А. Л. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем : монография / под редакцией М. А. Быховского. Москва : Эко-Трендз, 2006. 376 с.
19. 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 (дата звернення 12.08.2021).
20. Регламент радиосвязи. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565737147> (дата звернення 12.08.2021).

Надійшла до редколегії 13.08.2021

Схвалена до друку 14.09.2021

Відомості про авторів:**Макаров Сергій Анатолійович**

кандидат технічних наук доцент
начальник факультету Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4708-5449>

Чекунова Оксана Миколаївна

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<http://orcid.org/0000-0001-9613-7244>

Ковальчук Олександр Петрович

заступник начальника факультету
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<http://orcid.org/0000-0003-1860-1720>

Селезньов Сергій Володимирович

кандидат технічних наук
начальник науково-дослідної лабораторії Харківського
національного університету Повітряних Сил
ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<http://orcid.org/0000-0003-1910-3555>

Information about the authors:**Sergij Makarov**

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Head of the Faculty of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4708-5449>

Oksana Chekunova

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0001-9613-7244>

Alexander Kovalchuk

Deputy Head of the Faculty
of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force
University,
Kharkiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0003-1860-1720>

Serhii Seleznev

Candidate of Technical Sciences
Chief of Research Laboratory of Ivan
Kozhedub Kharkiv National Air Force
University,
Kharkiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0003-1910-3555>

**АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ МЕЖДУ РАДИОЭЛЕКТРОННЫМИ СРЕДСТВАМИ
ВОЗДУШНОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ И СРЕДСТВАМИ ОБЩИХ
ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ПОЛОСЕ ЧАСТОТ 1427-1532 МГц**

С.А. Макаров, О.Н. Чекунова, О.П. Ковальчук, С.В. Селезнев

В работе проведен анализ нормативно-правовых документов в сфере использования радиочастотного спектра Украины. Для проведения оценки и прогнозирования электромагнитной совместимости РЭС стандарта LTE со средствами воздушной телеметрии Вооруженных Сил Украины и средствами цифрового звукового вещания стандарта T-DAB проанализированы диапазоны рабочих частот РЭС радиотехнологии LTE с целью определения полос частот совместного использования как общими, так и специальными пользователями. В определенных полосах частот проанализирован перечень средств военной техники воздушной телеметрии Вооруженных Сил Украины, которые используют и нуждаются в защите от непреднамеренных помех, создаваемых излучением РЭС технологии LTE. Определена в дальнейшем необходимость исследований усовершенствования модели множественной взаимодействия РЭС стандарта LTE и средств воздушной телеметрии ВСУ и средств цифрового звукового вещания стандарта T-DAB на межсистемном уровне для определения худших условий их взаимодействия.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, радиоэлектронные средства, общие пользователи, специальные пользователи, воздушная телеметрия, цифровое звуковое вещание, сети мобильной связи.

**ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY BETWEEN RADIOELECTRONIC MEANS OF AIR
TELEMETRY OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE AND MEANS BY COMMON USERS IN FREQUENCY
BAND IN THE 1427-1532 MHz**

S. Makarov, O. Chekunova, A. Kovalchuk, S. Seleznev

The analysis of normative-legal documents in the field of use of the radio frequency spectrum of Ukraine is carried out in the work. Analysis of the situation regarding the electromagnetic situation in the frequency bands, dedicated radio means shows that the main problem of restraining the development of modern high-tech public telecommunications systems is the lack of frequency resource in the most popular bands. The necessity of determining the possibility of joint use of means of air mobile and radio-satellite services of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine with radio-electronic means of trunking communication of foreign production is substantiated. The introduction of digital mobile (mobile) networks in the new frequency bands requires experimental determination of permissible levels of unintentional interference from electronic means of LTE radio technology to special users, which will determine the territorial and frequency restrictions on the location of LTE network elements and predict electromagnetic compatibility between them. To assess and predict the electromagnetic compatibility and electromagnetic interaction of radio electronic means of LTE technology with air telemetry of the Armed Forces of Ukraine and digital audio broadcasting standard T-DAB analyzed the operating frequency ranges of electronic radio equipment LTE for common use users. The list of air telemetry means of the Armed Forces of Ukraine, which use and need protection against unintentional interference created by the radiation of electronic means of LTE technology, which is the result of research, is analyzed in certain frequency bands. The need for further research to improve the model of multiple interaction of LTE radio-electronic means and radio-electronic means of air telemetry of the Armed Forces and digital audio broadcasting of the T-DAB standard at the intersystem level to determine the worst conditions of their interaction is determined.

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