

УДК 621.391.827

С.А. Макаров

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО РЕСУРСУ ШЛЯХОМ ПОКРАЩЕННЯ ЧАСТОТНОЇ ВИБІРКОВОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПОСАДКИ

У роботі проаналізовані причини виникнення проблеми електромагнітної сумісності між радіолокаційними системами посадки та мережами цифрового стільникового радіозв'язку і запропоновано метод підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу у смузі частот 830...890 МГц за рахунок оснащення радіолокаційних систем посадки смуговими фільтрами підвищеної вибірконості.

Ключові слова: радіолокаційна система посадки, радіозавада, смуговий фільтр, електромагнітна сумісність, бічні випромінювання.

Вступ

Постановка проблеми. Телекомунікаційні системи відіграють значну роль у соціальній та економічній сферах діяльності суспільства і забезпечують підтримку розвитку економіки держави та розвиток у соціальній сфері. Концепція розвитку телекомунікацій в Україні, яка схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 07 червня 2006 року № 316-р, передбачає прискорене запровадження новітніх радіотехнологій рухомого (мобільного) зв'язку, у тому числі і радіотехнологій, які працюють у діапазоні частот 830...890 МГц. Поряд з цим на озброєні Повітряних Сил Збройних Сил України знаходяться радіолокаційні системи посадки (РСП), які також працюють у зазначеній смузі частот. Тому виникає проблема електромагнітної сумісності, коли передавальні пристрої новітніх радіотехнологій утворюють ненавмисні радіозавади приймальним пристроям РСП, що суттєво впливає на безпеку забезпечення польотів державної авіації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікаціях [1 – 3] розглянуто шляхи підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу на основі застосування цифрових антенних решіток, організаційних заходів перерозподілу частотного діапазону, в тому числі встановленням додаткового фільтра на вході приймального пристрою для підвищення його частотної вибірконості.

Метою статті є визначення шляхів підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу у діапазоні частот 830...890 МГц.

Виклад основного матеріалу

Радіолокаційна система посадки РСП-10МН або РСП-10МН1 входить до складу засобів радіотехнічного забезпечення польотів авіації аеродрому. РСП складається з диспетчерського (ДРЛ) та посадкового радіолокаторів. Основним об'єктом радіоза-

вад є антенно-фідерний тракт з приймальним пристроєм диспетчерського радіолокатора у пасивному режимі (ПАС) та режимі селекції рухомих цілей (СРЦ). Антенно-фідерний тракт та приймальний пристрій РСП має технічні характеристики, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики антенно-фідерного тракту та приймального пристрою ДРЛ-10МН (РСП-10МН1)

Параметри	Од. виміру
Чутливість, дБ/Вт: ПАС СРЦ	мінус 135 мінус 133
Ознака настройки гетеродина	нижня
Проміжна частота ($f_{пр}$), МГц	30
Коефіцієнт підсилення антени в напрямку головної пелюстки	550
Втрати у фідері	5 дБ
Смуга пропускання на рівні мінус 3 дБ: ПАС СРЦ	0,8 МГц 2,3 МГц
Коефіцієнт прямокутності	4
Рівень вимірювання коефіцієнту прямокутності дБ	мінус 60
Вибірковість по дзеркальному каналу, дБ	16
Поляризація хвиль	Горизонтальна
Діапазон частот приймального пристрою, МГц	835 – 880
Динамічний діапазон, дБ	45

Під час проведення натурних випробувань щодо визначення впливу випромінювання радіоелектронних засобів (РЕЗ) існуючих та новітніх радіотехнологій та аналогового і цифрового телемовлення на радіолокаційну систему посадки РСП-10МН та наукових досліджень в ході виконання науково-дослідної роботи "Дослідження можливостей конверсії радіочастотного ресурсу в діапазоні 800 МГц за рахунок покращення параметрів електромагнітної сумісності диспетчерських радіолокаторів" визначено

основні джерела радіозавад РСРП та природу їх походження.

Основними джерелами радіозавад для приймального тракту ДРЛ є випромінювання радіоелектронних засобів (базових станцій та абонентських терміналів):

- мережі цифрового мобільного радіозв'язку стандарту D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone Service), які працюють у смузі частот від 825 МГц до 890 МГц;

- мережі цифрового стільникового радіозв'язку стандарту IS-95 технології CDMA 800 (Code Division Multiple Access – множинний доступ з кодовим розподілом каналів), які працюють у смузі частот від 824 МГц до 880 МГц;

- передавачі аналогового телемовлення;

- передавачі цифрового телемовлення стандарту DVB-T2.

Природа походження радіозавад полягає у недосконалості приймального тракту ДРЛ РСРП-10МН (РСРП-10МН1). Невеликий динамічний діапазон та низький рівень вибіркової по дзеркальному каналу сприяє утворенню радіозавад, які виникають в результаті інтермодуляції, комбінаційних складових та радіозавад по дзеркальному каналу.

Підсилювач високої частоти в приймальному пристрої ДРЛ розроблявся для роботи з малими сигналами. Якщо на вхід такого підсилювача високої частоти надходить потужний сигнал, що випромінюється передавачем розташованим поблизу, вхідні каскади приймача перевантажуються та переходять у нелінійний режим роботи або навіть у заблокований стан. При цьому час відновлення вхідного каскаду складає декілька секунд навіть після зникнення сигналу. Нелінійний режим приймального пристрою є передумовою для утворення інтермодуляційних радіозавад [4, 5].

Інтермодуляційні радіозавади – це бічні випромінювання, які утворюються в передавачі при впливі на нього випромінювань інших передавачів. Вони особливо інтенсивні, коли між одночасно працюючими передавачами є функціональний або конструктивний зв'язок (наприклад, при сумісній роботі двох або великої кількості передавачів на одну антену). Чим сильніший зв'язок між передавачами та більше їх потужність, тим більше може бути рівень інтермодуляційних випромінювань. Часто достатньо сильними є інтермодуляційні випромінювання третього порядку, як, наприклад, у випадку сумісної роботи трьох передавачів на одну антену, коли

$$f_3 = |2f_1 - f_2|.$$

На приймальній стороні інтермодуляційні бічні канали утворюються в результаті взаємодії напруг декількох завадових сигналів та їх гармонік з напругою гетеродина та його гармонік відповідно виразу

$$f_{\Gamma\text{Ч}} = n_1 f_{\text{К}1} \pm n_2 f_{\text{К}2} \pm n_3 f_{\text{К}3} \pm \dots \pm q f_{\Gamma},$$

де n_1, n_2, n_3, \dots, q – цілі числа 1, 2, 3, ...

Особливістю цих бічних каналів є те, що вони з'являються тільки у випадку, коли на вході змішувача є два (або більше) завадових сигналів з рівнями, достатніми для прояви нелінійних властивостей приймального тракту (рис. 1).

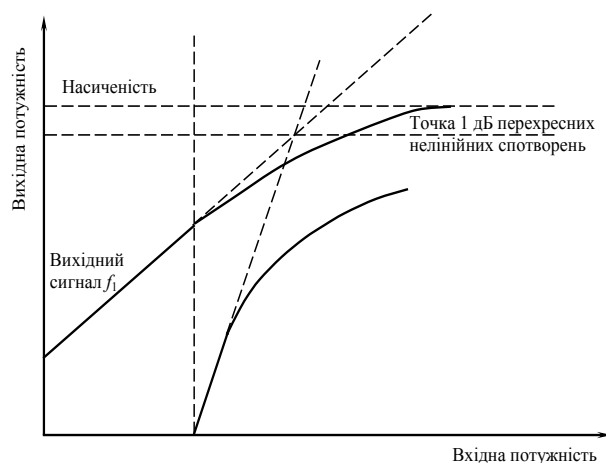


Рис. 1. Умови утворення інтермодуляційних радіозавад

Наприклад, при проведенні натурних випробувань на аеродромі Скирилів (м. Львів) було виявлено, що при увімкненні мережі телевізійного мовлення у м. Львів на пристроях відображення радіолокаційної інформації ДРЛ спостерігалася активна шумова радіозавада на азимуті телевізійної вишки при одночасній роботі 37 та 49 телевізійних каналів (ТВК); 39 та 49 ТВК; 37, 39 та 49 ТВК; 21, 32 та 49 ТВК; 27, 44, 47 та 64 ТВК; 51 та 57 ТВК; 49 та 51 ТВК. Смуги частот цих ТВК наведено у табл. 2.

Комбінаційні радіозавади – це радіозавади, які утворюються бічним випромінюванням як з передавального так і з приймального боку радіолінії.

На передавальному боці вони утворюються при формуванні коливань основного випромінювання під дією нелінійних перетворень допоміжних коливань. Комбінаційні випромінювання на передавальному боці характерні для діапазонних передавачів, збуджувачі яких забезпечують будь-яку робочу хвилю із сітки дискретної множини хвиль, що утворюються системою діапазонно-кварцової стабілізації частоти.

На приймальному боці комбінаційні бічні канали утворюються в результаті взаємодії напруги завадового сигналу та його гармонік з напругою гетеродина та його гармонік відповідно виразу

$$p f_{\text{К}} \pm q f_{\Gamma} = f_{\Gamma\text{Ч}},$$

де $f_{\text{К}}$ – частота комбінаційного каналу приймача;

f_{Γ} – частота гетеродина;

p, q – цілі числа 1, 2, 3, ...;

$f_{\Gamma\text{Ч}}$ – проміжна частота приймача.

Таблиця 2
Смуги частот телевізійних каналів

Номер телевізійного каналу	Смуга частот телевізійного каналу
21	470...478 МГц
27	518...526 МГц
32	558...566 МГц
37	598...606 МГц
39	614...622 МГц
44	654...662 МГц
47	678...686 МГц
49	694...702 МГц
51	710...718 МГц
57	758...766 МГц
64	814...822 МГц

На приймальному боці комбінаційні бічні канали утворюються в результаті взаємодії напруги заводового сигналу та його гармонік з напругою гетеродина та його гармонік відповідно виразу

$$rf_K \pm qf_\Gamma = f_{ПЧ},$$

де f_K – частота комбінаційного каналу приймача;

f_Γ – частота гетеродина;

r, q – цілі числа 1, 2, 3...;

$f_{ПЧ}$ – проміжна частота приймача.

Кількість бічних каналів збільшується в тому випадку, якщо частота гетеродина утворюється комбінаційним способом, тобто шляхом складання частот кількох первинних генераторів та багатократно-го їх перемноження. У цьому випадку на змішувач можуть попасти частоти $f_1, f_2, f_1 + f_2, 2f_1, 2f_2, 2(f_1 + f_2)$ тощо. Всі ці частоти та їх гармоніки, при взаємодії з частотами заводових сигналів, можуть утворювати проміжну частоту.

Особливо велике число комбінаційних каналів у приймальних пристроїв зі слабкою частотною вибірковістю преселектора.

Радіозавади по дзеркальному каналу обумовлені особливостями побудови приймальних пристроїв супергетеродинного типу.

Частота дзеркального каналу відрізняється від частоти гетеродина супергетеродинного приймального пристрою на величину його проміжної частоти, але вона знаходиться на частотній площині відносно частоти сигналу по інший бік від частоти гетеродина. Таким чином, дзеркальна частота відрізняється від частоти сигналу на подвійну величину проміжної частоти.

$$f_{Дзч} = f_C \pm 2 f_{ПЧ}.$$

Якщо ознака настройки гетеродина нижня, то дзеркальна частота буде формуватися нижче частоти сигналу приймання на подвійну величину проміжної частоти. Якщо верхня, то навпаки – зверху.

Наприклад, приймальний пристрій ДРЛ налагоджений на частоту приймання 880 МГц (f_C) при проміжній частоті, яка дорівнює 30 МГц, та при нижній ознаці настройки гетеродина дзеркальна частота дорівнює 820 МГц ($f_{Дзч}$), яка потрапляє у смугу частот 64 ТВК (рис. 2).

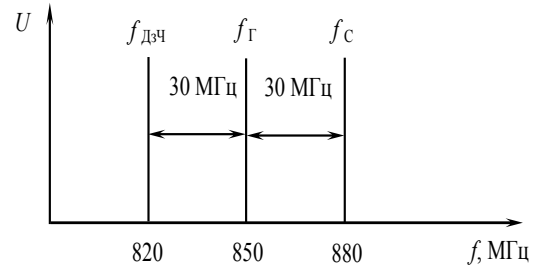


Рис. 2. Механізм утворення дзеркальної частоти

Для усунення радіозавад, які обумовлені значеними факторами, виявляється необхідність у прийнятті додаткових заходів щодо забезпеченню електромагнітної сумісності між РЕЗ. Як відомо, забезпечення електромагнітної сумісності РЕЗ здійснюється шляхом проведення організаційних та технічних заходів.

Найбільш ефективними з них виявляються технічні заходи. Для розглянутої проблеми це застосування додаткового смугового фільтра, характеристики якого наведені на рис. 3 та у табл. 3. Він встановлюється на вході приймального пристрою (до підсилювача високої частоти) ДРЛ радіолокаційної системи посадки.

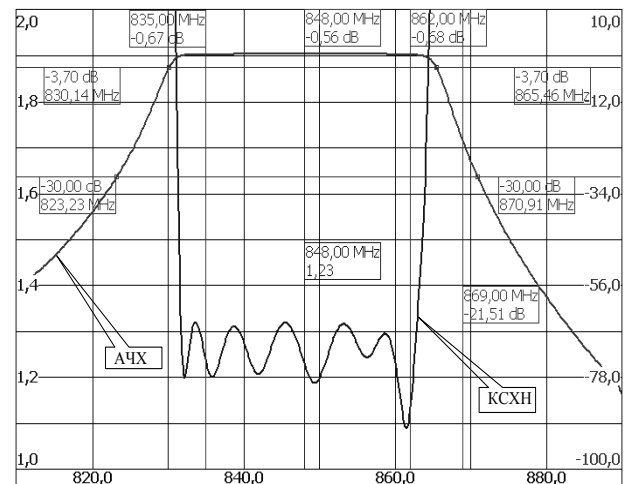


Рис. 3. Амплітудно-частотна характеристика та коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі смугового фільтра АОФА. 468824.006

Смуговий фільтр АОФА 468824.006 виконаний за принципом гребінцевої конструкції з круглими стержнями та повітряним заповненням, що забезпечує високу добротність і добру технологічність виготовлення фільтра.

Таблиця 3

Основні технічні характеристики
смугового фільтру АОФА 468824.006

№ з/п	Найменування характеристики	Номінальне значення
1	Втрати в смузі пропускання, (847,5 ± 16) МГц, дБ	не більше 0,9 ± 0,2
2	Ширина смуги пропускання по рівню 0,5 дБ від вершини АЧХ, МГц	не менше 32 ± 1
3	Нижня гранична частота смуги подавлення по рівню гарантованого 30 дБ, МГц	не менше 824 ± 3
4	Верхня гранична частота смуги подавлення по рівню гарантованого затухання 30 дБ, МГц	не більше 871 ± 3
5	Коефіцієнт стоячої хвилі в смузі пропускання 847,5 ± 16 МГц (у тракці з хвилевим опором 75 Ом)	не більше 1,35 ± 0,2
6	Термін служби, років	не менше 20
7	Призначений ресурс, год.	≥ 20000
8	Гарантійний термін експлуатації, міс.	12
9	Ударні і лінійні прискорення, g	до 1
10	Вібраційні прискорення, g	до 1
11	Висота над рівнем моря, м	≤ 4000

Результати випробувань смугового фільтра АОФА.468824.006 у складі первинного каналу диспетчерського радіолокатора радіолокаційної системи посадки РСР-10МН, в тому числі шляхом спеціальної льотної перевірки з використання рейсових повітряних суден, свідчать, що чутливість приймального тракту після встановлення смугового фільтра знижується на 1 дБ/Вт та залишається в межах нормативних значень, при цьому покращуються характеристики частотної вибірконості первинного каналу диспетчерського радіолокатора радіолокаційної системи посадки літаків РСР-10МН та усуваються радіозавади від засобів стільникового зв'язку та аналогового телебачення.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЧАСТОТНОГО РЕСУРСА ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ ЧАСТОТНОЙ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПОСАДКИ

С.А. Макаров

В работе проанализированы причины возникновения проблемы электромагнитной совместимости между радиолокационными системами посадки и системами цифровой сотовой радиосвязи и предложен метод повышения эффективности использования радиочастотного ресурса в полосе частот 830...890 МГц за счет оснащения радиолокационных систем посадки полосовыми фильтрами повышенной избирательности.

Ключевые слова: радиолокационная система посадки, радиопомеха, полосовой фильтр, электромагнитная совместимость, побочные излучения.

EFFECTIVENESS INCREASE OF USING RADIO FREQUENCY RESOURCE BY IMPROVING RADAR LANDING SYSTEMS FREQUENCY DISCRIMINATION

S.A. Makarov

The reasons of the problem of electromagnetic compatibility between radar landing systems and digital cellular radio chains are analyzed in the paper and a method of effectiveness increase of using radio frequency resource in the frequency band of 830...890 MHz in the way of improving radar landing systems by band filters of increased discrimination is proposed.

Keywords: radar landing system, radio interference, band filter, electromagnetic compatibility, lateral radiation.

Висновки

Оснащення смуговими фільтрами підвищеної вибірконості радіолокаційних систем посадки дозволяє забезпечити беззавадову роботу РЕЗ спеціальних користувачів сумісно з РЕЗ CDMA 800 та аналогового й цифрового телемовлення. Впровадження отриманих результатів дозволить забезпечити умови електромагнітної сумісності з РЕЗ спеціальних користувачів та виконати підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу у діапазоні частот 830...890 МГц.

Список літератури

1. *Захист бортової апаратури РСБН-5с літаків Л-39 від радіоелектронних засобів технології CDMA 800 стандарту IS-95 на військових аеродромах України / В.В. Бараннік, А.О. Красноруцький, А.І. Вареник [та ін.] // Системи озброєння і військової техніки. – 2010. – №4(24). – С. 15-20.*
2. *Тітов І.В. Підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу за рахунок застосування цифрових антенних решіток / І.В. Тітов, С.А. Макаров // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – №4 (28). – С. 92-94.*
3. *Тичинський А.В. Досвід проведення конверсії радіочастотного спектра для забезпечення роботи мереж стільникового зв'язку в Україні / А.В. Тичинський // Актуальні питання регулювання у сфері телекомунікацій та користування радіочастотним ресурсом України: наук.-практ. конф., 11-13 червня 2008 р.: тези доповідей. – К., 2008. – С. 85.*
4. *Справочник по связи и радиотехническому обеспечению полетов / Духон Ю.И. и др.; под ред. Р.С. Терского. – М.: Воениздат, 1979.*
5. *Дэвис Дж. Карманный справочник радиоинженера: Пер. с англ. Т.И. Сенниковой / Дж. Дэвис, Дж.Дж. Карр. – 2-е изд. – М.: Издательский дом "Додэка-XXI", 2006.*

Надійшла до редколегії 22.10.2012

Рецензент: д-р техн. наук К.С. Васюта, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.