

УДК 621.391.82

С.А. Макаров, В.О. Лебедєв, О.В. Висоцький, П.М. Гриценко

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ВЗАЄМОДІЇ РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ БЛИЖНЬОЇ НАВІГАЦІЇ ТА МЕРЕЖІ ЦИФРОВОГО СТІЛЬНИКОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ GSM-900

*У роботі проаналізовані причини виникнення проблеми електромагнітної сумісності між бортовою апаратурою радіотехнічної системи ближньої навігації (РСБН) та мережами цифрового стільникового радіозв'язку і запропоновані шляхи удосконалення моделі взаємодії мережі мобільного цифрового стільникового радіозв'язку стандарту GSM-900 та РСБН в режимах "Навігація" та "Посадка".*

**Ключові слова:** бортова апаратура радіотехнічної системи ближньої навігації, радіозавада, навігація, посадка, 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 прискорений розвиток радіотехнологій рухомого (мобільного) зв'язку, у тому числі і радіотехнологій, які працюють у діапазоні частот 890...960 МГц. Поряд з цим на озброєні Повітряних Сил Збройних Сил України знаходяться зразки військової техніки, наприклад, РСБН, які також працюють у зазначеній смузі частот. Тому виникає проблема забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) між радіоелектронними засобами (РЕЗ) існуючих радіотехнологій та бортової апаратури РСБН, що суттєво впливає на якість забезпечення безпеки польотів державної авіації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У публікаціях [1–3] розглянуто шляхи підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу на основі застосування організаційно-технічних заходів, які визначають можливість проведення перерозподілу частотного діапазону на основі удосконалення зразків військової техніки Повітряних Сил Збройних Сил України. Результати практичних вимірювань захисних відношень РСБН від впливу мережі мобільного цифрового стільникового радіозв'язку стандарту GSM-900 наведені у публікації [4].

**Метою статті є** визначення шляхів удосконалення моделей взаємодії радіотехнічної системи ближньої навігації та мережі цифрового стільникового радіозв'язку стандарту GSM-900.

### Виклад основного матеріалу

Розробка пропозицій щодо вирішення проблеми забезпечення електромагнітної сумісності між РЕЗ

мережі цифрового стільникового радіозв'язку (МЦСРЗ) стандарту GSM-900 та апаратурою радіотехнічної системи ближньої навігації здійснюється на основі оцінки параметрів ЕМС. У зальному випадку основними етапами оцінки ЕМС є:

- частотний аналіз;
- енергетичний аналіз;
- оцінка територіального рознесення;
- розробка норм частотно-територіального рознесення (ЧТР).

У результаті частотного аналізу ЕМС між апаратурою РСБН, обладнанням інструментальних систем посадки (ІСП) та РЕЗ МЦСРЗ стандарту GSM-900 встановлено, що базові станції (БС) стандарту GSM-900 мають наступні технічні характеристики:

- 1) максимальна потужність передавача БС становить 32 Вт;
- 2) ширина смуги випромінювання БС дорівнює 200 кГц (на один канал);
- 3) коефіцієнт підсилення антени БС у напрямку основної пелюстки становить 18 дБ;
- 4) коефіцієнт підсилення антени БС у напрямку бічної пелюстки становить 4 дБ;
- 5) сумарний кут нахилу діаграми спрямованості антени (ДСА) у вертикальній площині може приймати значення від мінус п'яти градусів до нуля;
- 6) смуга робочих частот для БС МЦСРЗ стандарту GSM-900 складає на прийом 890,1...914,9 МГц (1...124 дуплексні частотні канали (ДЧК));
- 7) смуга робочих частот для БС МЦСРЗ стандарту GSM-900 складає на передачу 935,1...959,9 МГц (1...124 ДЧК).

У спільних діапазонах працюють РЕЗ МЦСРЗ стандарту GSM-900 та РЕЗ апаратури РСБН. Основними каналами впливу випромінювання БС МЦСРЗ стандарту GSM-900 на військову техніку Повітряних Сил Збройних Сил України є:

- а) по основному дальномірному каналу приймання бортової апаратури РСБН – це випромінювання передавачів БС в основному діапазоні;

б) по основному каналу приймання бортових і наземних радіостанцій діапазону дециметрових хвиль (ДМХ) – це випромінювання БС на третій субгармоніці;

в) по основному каналу приймання пристрою контролю зони ІСП – це випромінювання БС на основних частотах;

г) по основному каналу приймання виносного індикатора кругового огляду (ВІКО) РСБН – це випромінювання БС в основному діапазоні;

д) по основному каналу приймання контрольно-виносного пункту (КВП) РСБН – випромінювання БС в основному діапазоні.

За результатами частотного аналізу проводиться енергетичний аналіз та оцінка територіального рознесення РЕЗ МЦСРЗ стандарту GSM-900 та обладнання РСБН на підставі особливостей та умов поширення радіохвиль у діапазоні частот, що досліджується.

На четвертому етапі оцінки ЕМС проводиться розробка норм частотно-територіального рознесення, яка має свою специфіку щодо побудови та використання адекватних моделей взаємодії радіотехнічної системи ближньої навігації та мережі цифрового стільникового радіозв'язку стандарту GSM-900.

Розглянемо особливості застосування апаратури РСБН. Бортова апаратура РСБН розташовується на літальних апаратах (ЛА) і тому може знаходитися у будь-якій точці повітряного простору України на межі малих та великих висот польоту.

Принциповим у детальному розгляді даного питання є визначення особливостей побудови та функціонування бортової апаратури радіотехнічної системи ближньої навігації. На сучасних літаках для вирішення різноманітних завдань літаководіння використовуються бортові комплекси, у тому числі і пілотажно-навігаційні комплекси (ПНК). ПНК представляє собою органічне об'єднання РСБН, системи курсоверткалі та системи автоматичного управління (САУ) польотом ЛА на основі бортової цифрової обчислювальної машини (БЦОМ). ПНК дозволяє вирішувати такі завдання:

- політ по заздалегідь запрограмованому маршруту з вирішенням завдань навігації, як при наявності зв'язку з наземними радіомаяками, так і в автономному режимі;
- повернення на один із запрограмованих аеродромів посадки;
- зниження з крейсерської висоти до висоти передпосадочного маневру (режим "Пробивання хмарності");
- виконання передпосадочного маневру в горизонтальній площині;
- захід на посадку;
- виконання повторного заходу на посадку з лівим або правим колом;
- повернення на незапрограмований аеродром, який обладнаний наземними радіотехнічними засобами виконання заходу на посадку.

На всіх етапах польоту бортова апаратура РСБН взаємодіє з наземними азимутально-дальномірними

радіомаяками. Так, для здійснення режиму "Навігація", весь маршрут польоту розбивається на декілька відрізків, ортодромій (рис. 1). На землі складається програма цього польоту, в БЦОМ вводять координати початкового пункту маршруту (ППМ-0) і усіх проміжних пунктів маршруту (ППМ).

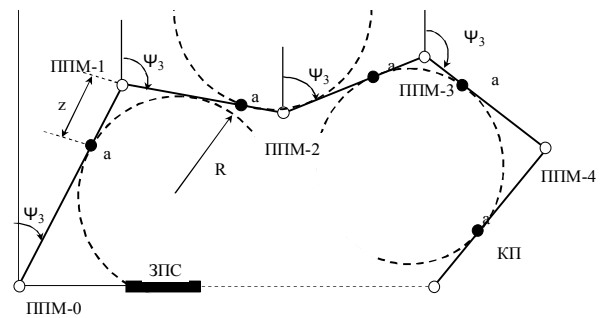


Рис. 1. Політ ЛА по маршруту за допомогою РСБН у складі ПНК

На етапі зльоту ЛА при виході на заданий ешелон польоту РСБН переключається на ППМ-1 і за допомогою ПНК здійснює політ по відрізку ортодромії від ППМ-0 до ППМ-1. При досягненні літаком точки (а), від якої літак повинен перейти на нову ортодромію ППМ-2 з заданим радіусом розвороту (R), БЦОМ здійснює переключення до наступної точки польоту, тобто з ППМ-1 до ППМ-2 (РСБН взаємодіє з радіомаяком ППМ-2). При поверненні на аеродром, якщо дальність до аеродрому менше 250 км, здійснюється зниження ЛА до заданої висоти. Після цього САУ реалізує режим стабілізації висоти польоту впритул до перетину ЛА з рівносигнальною зоною глісадного радіомаяка (ГРМ) ІСП.

Захід на посадку має два етапи. На першому етапі літак здійснює на висоті  $H_3 = 400...600$  м необхідні маневри та виходить на лінію, яка співпадає з осью ліній злітно-посадкової смуги (ЗПС). Другий етап польоту починається з точки перетину з лінією глісади і закінчується зниженням по глісаді до висоти 40...60 м. Далі починається посадка літака льотчиком, яка закінчується у точці дотику літака до ЗПС.

Моделі взаємодії радіотехнічної системи ближньої навігації та мережі цифрового стільникового радіозв'язку стандарту GSM-900, що використовувались спочатку для розрахунку норм ЧТР, побудовані на основі впливу РЕЗ МЦСРЗ стандарту GSM-900 на бортову апаратуру РСБН за основною пелюсткою діаграми спрямованості антени БС.

Однак, наукові дослідження ЕМС даних РЕЗ, які проводились під час проведення льотних випробувань на території автономної республіки Крим, визначили невідповідність моделей взаємодії РСБН та РЕЗ МЦСРЗ стандарту GSM-900 реальним умовам польоту ЛА. Результати проведення льотних випробувань щодо визначення умов ЕМС між РЕЗ МЦСРЗ стандарту GSM-900 та бортовою і наземною апаратурою РСБН обумовили необхідність удосконалення моделей взаємодії мережі цифрового стіль-

никового радіозв'язку стандарту GSM-900 та радіотехнічної системи ближньої навігації для режимів роботи "Навігація" та "Посадка" окремо.

Модель взаємодії БС мережі GSM-900 та бортового обладнання РСБН в режимі "Навігація" наведена на рис. 2.

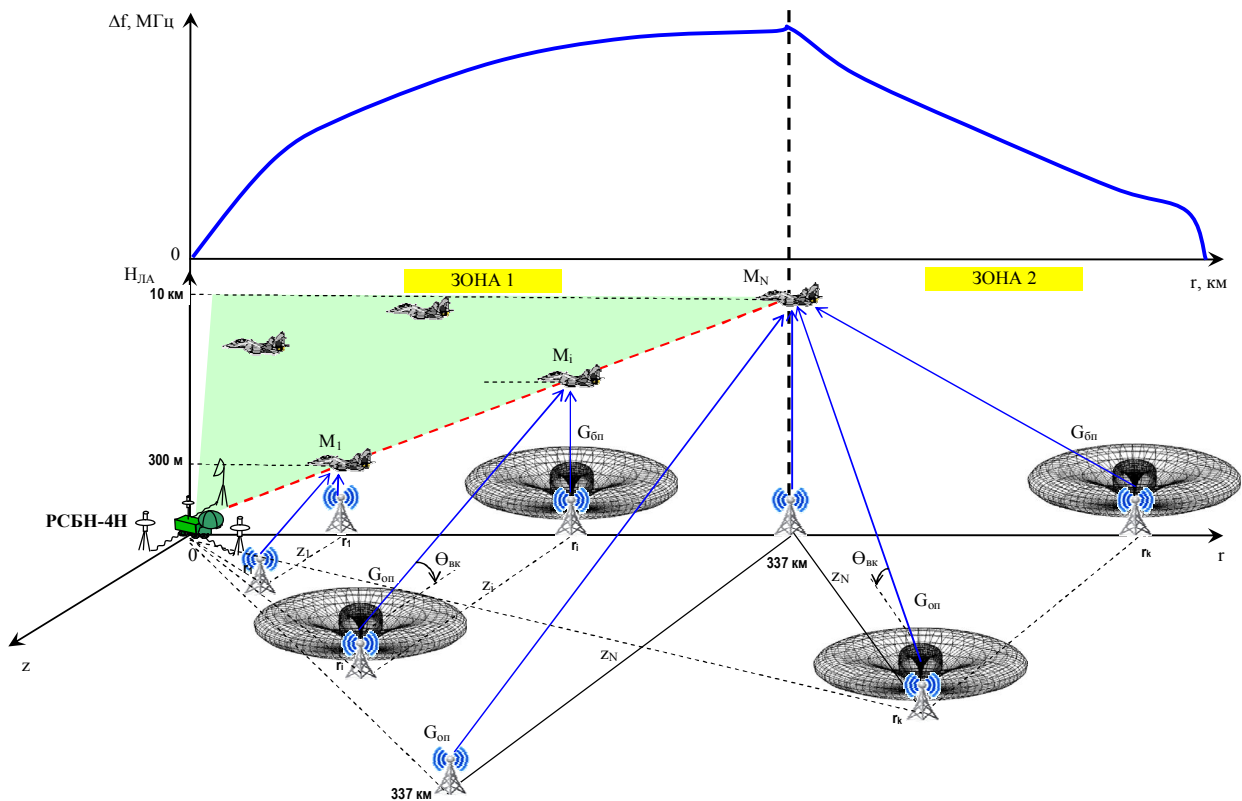


Рис. 2. Вплив базових станцій стандарту GSM-900 на бортову апаратуру РСБН, яка взаємодіє з наземними радіомаяками інших регіонів України

Дана модель одночасно враховує висоту польоту ЛА та віддаленість БС від наземного радіомаяка РСБН, на основі яких проводиться розрахунок кутомісцевого положення ЛА відносно БС, що дозволяє однозначно визначити вид впливу випромінювання БС (за основною чи бічною пелюстками ДСА). При цьому оцінюється реальна дальність дії бортового та наземного обладнання РСБН, так як при знаходженні ЛА над окремими містами України або їх областями, РСБН може взаємодіяти з наземним радіомаяком іншого регіону України в залежності від маршруту польоту, як це показано на рис. 2.

Вплив БС стандарту GSM-900 на бортову апаратуру РСБН, яка взаємодіє з наземними радіомаяками, в даній моделі оцінюється на підставі територіального рознесення усіх БС, які знаходять в зоні дії ДСА бортового обладнання РСБН. Попередні моделі визначення впливу БС були орієнтовані на ЛА, що виконували польоти на малих висотах, що збільшувало вимоги до частотного рознесення РЕЗ.

Треба зауважити, що при розробці моделей взаємодії радіотехнічної системи ближньої навігації та мережі цифрового стільникового радіозв'язку стандарту GSM-900 необхідно враховувати не тільки наземні радіомаяки РСБН, що розташовані у визначеній області, а також радіомаяки інших регіонів України, дальність дії яких забезпечує роботу бортової апаратури. Ця дальність залежить від висоти

польоту ЛА і може складати 250...450 км при висоті польоту від 5 до 20 км відповідно [4].

Максимальна практична висота польоту сучасної авіаційної техніки складає 10...17 км. Тому для розробки норм ЧТР бортової апаратури РСБН у режимі "Навігація" та РЕЗ МЦСРЗ стандарту GSM-900 необхідно враховувати наземні радіомаяки РСБН, які розташовуються у радіусі не менше 400 км навколо області України, що розглядається. Крім того удосконалена модель взаємодії радіотехнічної системи ближньої навігації та мережі цифрового стільникового радіозв'язку стандарту GSM-900 дозволяє проводити парну або/та групову оцінку EMC.

При аналізі забезпечення EMC між БС МЦСРЗ стандарту GSM-900 і бортовою апаратурою РСБН у режимі "Посадка" необхідно враховувати робочі частоти БС, які співпадають з робочими частотами ІСП, та розміщення БС у зоні дії ІСП (рис.3).

Для малої висоти польоту вплив БС стандарту GSM-900 на бортову апаратуру РСБН у режимі "Посадка", яка взаємодіє з ІСП, в даній моделі оцінюється на підставі врахування БС, які знаходяться в зоні дії ДСА ІСП.

Беззавадова робота дальномірного каналу бортової апаратури РСБН в режимі "Посадка" при польоті ЛА за стандартною схемою можлива за умови, що БС стандарту GSM-900 винесені від підсамольотної траєкторії планування на віддалення не менше:

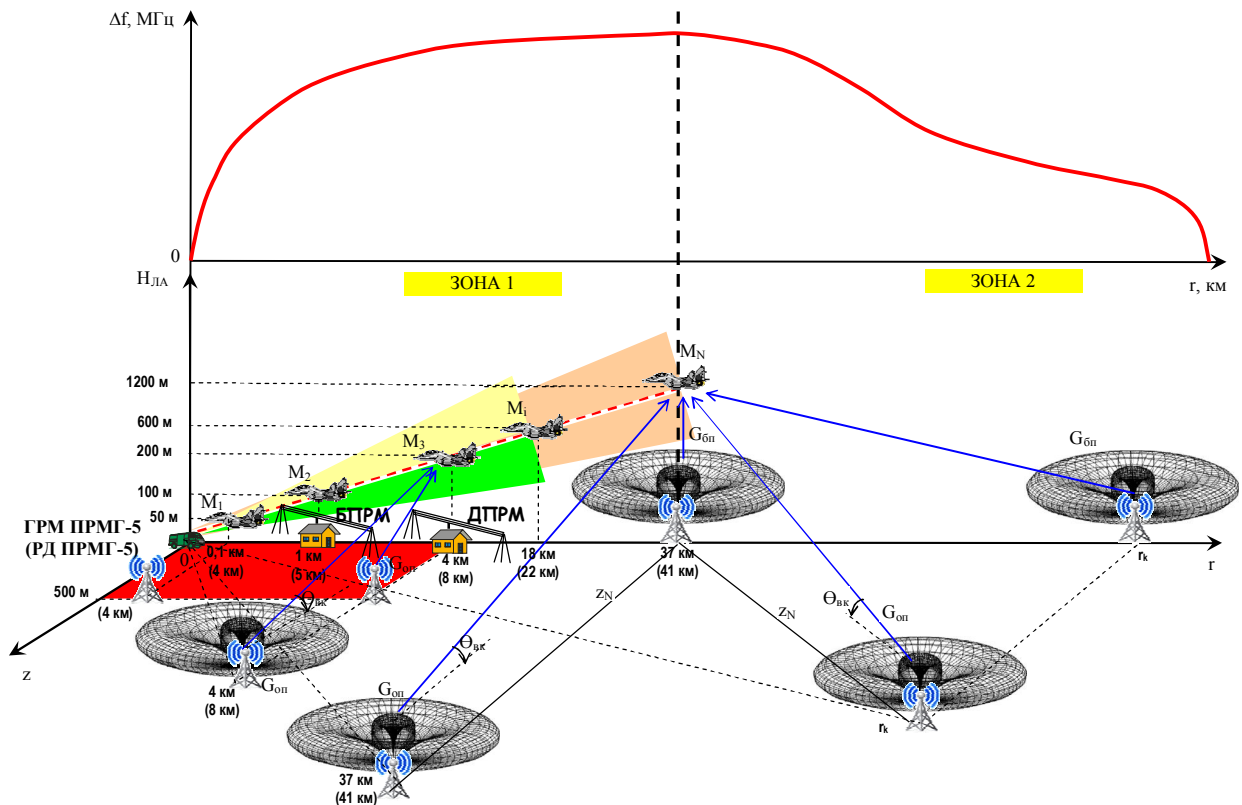


Рис. 3. Вплив базових станцій стандарту GSM-900 на бортову апаратуру РСБН у режимі "Посадка" у зоні дії інструментальної системи посадки

- 45 км для випадку знаходження ЛА в зоні дії основної пелюстки ДСА БС стандарту GSM-900;
- 15 км для випадку знаходження ЛА в зоні дії бічної пелюстки ДСА БС стандарту GSM-900.

### Висновки

Таким чином, в результаті аналізу впливу випромінювань БС МЦСРЗ стандарту GSM-900 на бортову й наземну апаратуру РСБН у АР Крим і областях України та у 400-км зоні навколо них встановлено невідповідність моделей взаємодії РСБН та РЕЗ МЦСРЗ стандарту GSM-900 реальним умовам польоту ЛА. Удосконалення моделей взаємодії РСБН та МЦСРЗ стандарту GSM-900 проведено на основі правил виконання польотів та особливостей функціонування бортової апаратури РСБН.

Удосконалення моделей взаємодії радіотехнічної системи ближньої навігації та мережі цифрового стільникового радіозв'язку стандарту GSM-900 в режимах "Навігація" та "Посадка" дозволяє проводити парну або/та групову оцінку ЕМС. Впровадження запропонованих моделей взаємодії мережі цифрового стільникового радіозв'язку стандарту GSM-900 та РСБН в режимах "Навігація" та "Посадка" дозволить отримати об'єктивні умови ЕМС та забезпечити підвищення

ефективності використання радіочастотного ресурсу у діапазоні частот 890...960 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. – Вип. 4 (28). – С. 92-94.*
3. *Тичинський А.В. Досвід проведення конверсії радіочастотного спектра для забезпечення роботи мереж стільникового зв'язку в Україні // 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. *Результаты экспериментальных исследований по определению защитных отношений для РЭС воздушной радионавигации при воздействии помех от передатчиков СПР стандарта GSM / В.В. Баскаков, М.А. Быховский [и др.] // Электросвязь. – 1993. – № 8.*

Надійшла до редколегії 2.12.2013

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

### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ БЛИЖНЕГО И СЕТИ ЦИФРОВОЙ СОТОВОЙ РАДИОСВЯЗИ СТАНДАРТА GSM-900

С.А. Макаров, В.А. Лебедев, О.В. Высоцкий, П.Н. Гриценко

*В работе проанализированы причины возникновения проблемы электромагнитной совместимости между бортовой аппаратурой радиотехнической системы ближней навигации (РСБН) и сетями цифровой сотовой радиосвязи и*

*предложены пути усовершенствования модели взаимодействия сети мобильной цифровой сотовой радиосвязи стандарта GSM-900 и РСБН в режимах "Навигация" и "Посадка".*

***Ключевые слова:** бортовая аппаратура радиотехнической системы ближней навигации, радиопомеха, навигация, посадка, электромагнитная совместимость, боковые излучения.*

**IMPROVEMENT OF THE INTERACTION MODELS OF SHORT-NAVIGATION  
RADIO SYSTEM AND DIGITAL CELLULAR RADIOCOMMUNICATION GSM-900**

S.A. Makarov, V.O. Lebedev, O.V. Visotskiy, P.M. Gritsenko

*The causes of the problem of electromagnetic compatibility between the onboard equipment of short-range navigation radio system (SRNRS) and digital cellular radio networks are analyzed in the paper; and the ways of improving the interaction model of the mobile digital cellular radiocommunication GSM-900 and SRNRS in the "Navigation" and "Landing" modes are proposed.*

***Keywords:** onboard equipment of short-range navigation radio system, radio interference, navigation, landing, electromagnetic compatibility, lateral radiation.*