

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПЕРЕШКОДОЗАХИЩЕНОСТІ СИСТЕМ БЛИЖНЬОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ

У статті розглядаються тенденції розвитку бортових систем ближньої радіолокації (СБРЛ). Наведено результати порівняльного аналізу перешкодостійкості СБРЛ в різних частотних діапазонах. Розглянуто технологічні аспекти створення перспективної СБРЛ, що функціонує в діапазоні 53 .. 60 ГГц.

Ключові слова: система ближньої радіолокації, перешкодозахищеність.

Вступ та постановка завдання. З позицій системного підходу неконтактний датчик цілі є інформаційною системою бінарного типу, що формує виконавчі команди на основі аналізу впливів або процесів, що надходять на вхід датчика по інформаційних каналах. До типових процесів можна віднести сигнали електромеханічних перетворювачів контактної взаємодії засобів доставки з ціллю, часові процеси дистанційного режиму і вхідні сигнали неконтактного датчика цілі.

Датчики цілі контактної та дистанційної дії добре вивчені і опрацьовані. Їх конструкція допускає мініатюрного і мікромініатюрного виконання, особливо з появою напівпровідникових акселерометрів і низьковольтних мікропроцесорів. У разі неконтактних датчиків цілі (НДЦ) проблем стає значно більше і їх вирішення не завжди очевидні.

По суті, НДЦ являє собою бортову і автономну систему ближньої радіолокації (СБРЛ) в мікромініатюрному виконанні, яка працює в умовах високих динамічних навантажень, при наявності природних та штучних перешкод при малих і надмалих часових ресурсах. При цьому СБРЛ повинно вирішувати практично весь спектр завдань, характерних для стаціонарних локаційних систем.

Умови мініатюризації НДЦ зумовлює в більшості випадків використання оптичного інформаційного каналу. До таких систем можна віднести НДЦ, що побудовані на напівпровідникових лазерах і інфрачервоних випромінювачах. Однак ці системи мають низьку перешкодостійкість в умовах інтенсивних пиледимових сумішей, характерних для бойових умов застосування. Причому ці обмеження проявляються на фізичному рівні поширення енергії в просторі і тому не усуваються алгоритмічними і схемотехнічними рішеннями.

Відомим виходом підвищення перешкодозахищеності НДЦ в умовах інтенсивних природних і штучних перешкод є використання радіохвиль в якості інформаційного каналу, що призвело до появи і широкого поширення практично на всіх типах засобів доставки радіотехнічних НДЦ, які можна розділити на дві групи – автодинні і радіолокаційні [1]. У ряді випадків допустимий обсяг НДЦ обмежений величиною в декілька кубічних сантиметрів, з яких значну частину займають пристрої виконавчих ланцюгів, джерело живлення і запобіжно-виконавчий механізм.

Тому, в нашій країні переважна більшість радіотехнічних НДЦ побудовано на автодинному принципі, при якому активний елемент передавача (транзистор, діод і т.і.) по ланцюгах управління одночасно є і прийомним пристроєм. Використання автодина допускає максимальне спрощення і як наслідок мікромініатюризації приймально-передавального модуля (ППМ) НДЦ. Однак платою за простоту є його низька перешкодостійкість і як наслідок – низька ефективність, оскільки автодинна побудова НДЦ не дозволяє забезпечити селекцію по дальності. Іншими словами, прогресу у використанні радіотехнічних НДЦ на автодинах чекати не доводиться.

Очевидною альтернативою автодинам є мініатюризація радіолокаційних НДЦ, яка в першу чергу стосується його приймально-передавальної частини. Закордонний досвід показує широке використання універсальних НДЦ з радіолокаційним каналом. Для побудови

дійсно перспективних НДЦ необхідна розробка нових і використання новітніх і перспективних методів і технологій, принципів дії і алгоритмів обробки сигналу, конструкторсько-технологічні рішення по компоновці і розміщенню НДЦ на борту засобів доставки та ряд інших. Саме конструкторсько-технологічні рішення при створенні сучасних НДЦ радіолокаційного типу є метою даної статті. При цьому під НДЦ з радіолокаційним каналом будемо розуміти бортову СБРЛ.

Основні положення дослідження. Останнім часом при проектуванні СБРЛ основна увага приділяється підвищенню їх стійкості до впливу активних перешкод [2]. Проблема представляється дуже складною, оскільки традиційні методи поліпшення перешкодозахищеності, пов'язані з використанням складних зондувальних сигналів і спеціальних методів обробки відбитих сигналів значною мірою вичерпали себе. Це пов'язано з безперервним удосконалюванням і розвитком засобів радіоелектронної протидії. Так, наприклад, в діапазоні метрових хвиль наземні GLQ-3A, VLQ-12 і переносні PLQ-2 станції загороджувальних радіоперешкод володіють спектральною щільністю потужності перешкод понад 100 Вт/МГц і можуть створювати перешкоджаючий сигнал в смузі приймача СБРЛ, що перевищує корисний на кілька порядків. Аналогічна ситуація спостерігається в діапазоні дециметрових і сантиметрових радіохвиль, де крім проблеми завадостійкості найчастіше виникає проблема з електромагнітною сумісністю СБРЛ з різними радіолокаційними, навігаційними системами і системами зв'язку і управління.

Тому перспективним представляється перехід в міліметровий діапазон хвиль (ММДХ), основні переваги якого пов'язані з наявністю в ньому спектральних "вікон загасання" радіохвиль і можливість використання в габаритах СБРЛ спрямованих антен. На відміну від метрового і дециметрового діапазонів, де загасання в чистій атмосфері не перевищує 0,01 дБ/км, в ММДХ на довжині хвилі $\lambda = 5$ мм поглинання складає 18 дБ/км, що істотно ускладнює постановку активних перешкод в цьому частотному діапазоні на фізичному рівні.

При порівнянні потенційної перешкодостійкості СБРЛ ММДХ і автодинного НДЦ, що працює в метровому діапазоні хвиль, можна обмежитися розглядом функціонування їх високочастотних трактів в умовах активних перешкод.

Відомо, що перешкоджаючий сигнал на вході автодина, сумірний з рівнем його випромінюваної потужності, призводить до зриву автоколивань, що робить проблематичним придушення перешкоджаючого сигналу в його трактах обробки. Таку потужність перешкоджаючого сигналу можна вважати гранично допустимою, вважаючи, що при меншому рівні перешкоджаючий сигнал може бути пригнічений в трактах обробки СБРЛ.

Для оцінки переваг СБРЛ ММДХ, що функціонують у земної поверхні, розглянемо одну з можливих тактичних ситуацій, при якій станція активних перешкод, що прикриває позицію, розташовується від неї на відстані D_n . До заданої позиції під кутом γ наближається засіб доставки СБРЛ метрового та міліметрового діапазонів, що починає функціонувати на висоті H . Антена СБРЛ володіє діаграмою спрямованості $F_{\text{СБРЛ}}(\theta, \varphi)$ з коефіцієнтом спрямованої дії (КСД) $G_{\text{СБРЛ}}$ і коефіцієнтом корисної дії $\eta_{\text{СБРЛ}}$. Щільність потоку потужності активної перешкоди на вході автодина, що призводить до зриву автоколивань і виведення з ладу СБРЛ, визначається як

$$Q_n = \frac{P_n G_n F_n(\theta, \varphi)}{4\pi R^2}, \quad (1)$$

де $R = H \sqrt{1 + \left(\frac{D_n}{H} + \text{ctg } \gamma\right)^2}$ – дальність до постановника перешкод,

P_n – потужність сигналу постановника перешкод (Вт), а його антена має діаграму $F_n(\theta, \varphi)$ і КСД – G_n , α – коефіцієнт загасання радіохвиль в атмосфері (дБ/км).

Тоді щільність потужності перешкоди P_n , що створює на вході СБРЛ потужність $P_{\text{ср}}$, при якій порушується функціонування СБРЛ.

$$P_n = \frac{(4\pi)^2 P_{cp} R^2 10^{\alpha R / 10^4}}{G_n F_n(\theta, \varphi) G_{CBRL} \eta_{CBRL} F_{CBRL}(\theta, \varphi) \lambda^2}, \quad (2)$$

де λ – довжина хвилі у вільному просторі.

Результати розрахунків по цьому співвідношенню у вигляді залежності P_n від дальності до постановника перешкод D_n наведено на рис. 1.

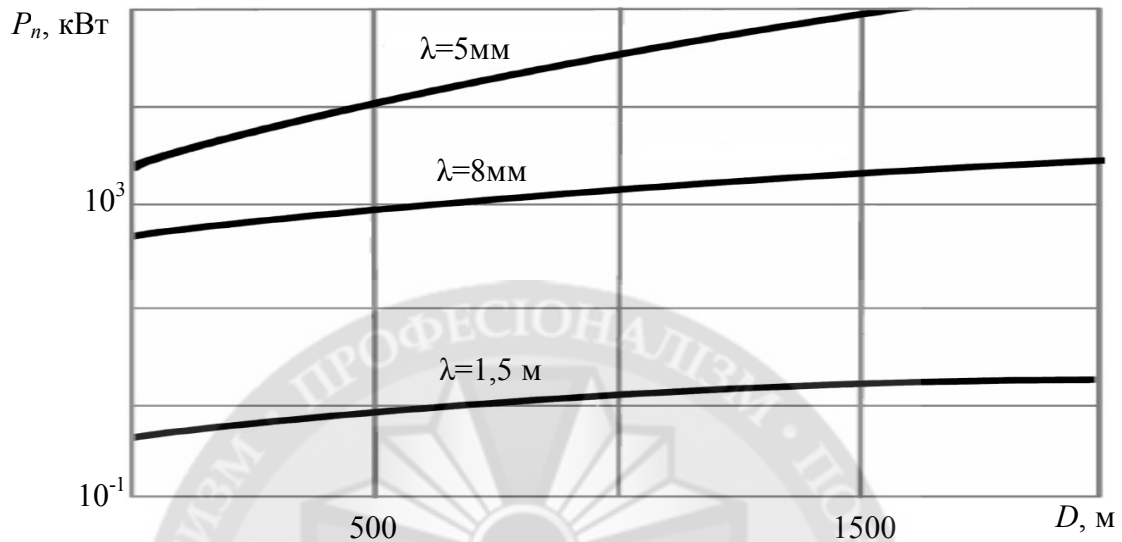


Рис. 1. Залежність потужності перешкод від дальності до об'єкту при різних значеннях λ

При розрахунках обрані наступні значення вихідних параметрів: для СБРЛ метрового діапазону ($\lambda=1,5$ м): $G_{CBRL} = 5$, $\eta_{CBRL} = 0,2$, $\alpha = 0,02$ дБ/км, $F_{CBRL}(\theta, \varphi) = 0,9$; для СБРЛ ММДХ ($\lambda=8$ мм): $G_{CBRL} = 30$, $\eta_{CBRL} = 0,8$, $\alpha = 0,12$ дБ/км, $F_{CBRL}(\theta, \varphi) = 0,3$ і для СБРЛ ММДХ ($\lambda=5$ мм): $G_{CBRL} = 30$, $\eta_{CBRL} = 0,7$, $\alpha = 16$ дБ/км, $F_{CBRL}(\theta, \varphi) = 0,24$. Граничнодопустима потужність прийнята рівною $P_{cp} = 10^{-3}$ Вт. КНД постановника перешкод $G_n = 10$, а мінімальна висота, на якій може бути здійснено спрацьовування СБРЛ під дією активної перешкоди обрано рівної $H = 150$ м. На такій і більших висотах ефективність засобів доставки практично зводиться до нуля.

Неважко побачити, що організація активної протидії в ММДХ навіть на довжині хвилі $\lambda=8$ мм надзвичайно ускладнена. Річ в тому, що використання переносних станцій типу PLQ з напівпровідниковими генераторами не дає помітного ефекту, так як потенційно можливий рівень випромінюваної потужності (декілька десятків кВт в імпульсі) стає недостатнім вже при віддаленні станції на кілька сотень метрів від позиції, що захищається. Наземні пересувні станції типу GLQ або VLQ стають неефективними для СБРЛ ММДХ при віддаленні від позиції, що захищається на 500 і більше метрів.

Слід підкреслити, що створення потужних генераторів з рівнем потужності в імпульсі порядку 1 МВт в ММДХ взагалі є проблематичним, а на довжині хвилі $\lambda=5$ мм необхідна потужність перешкоди в зоні постановки зазначених станцій приблизно на два порядки вище, ніж у 8-ми міліметровому діапазоні довжин хвиль.

Це наочно показує виключно високу перешкодостійкість СБРЛ ММДХ в діапазоні $\lambda=5$ мм. Організація активної протидії в ММДХ надзвичайно ускладнена. У діапазоні частот 30 ... 60 ГГц станції загороджувальних радіоперешкод стають неефективними при віддаленні на 500 і більше метрів. Вплив природних метеоутворень підвищує скритність і перешкодостійкість СБРЛ ММДХ до 12 ... 16 дБ/км у порівнянні з чистою атмосферою.

Інші методи підвищення перешкодостійкості СБРЛ ММДХ аналогічні методам, які використовуються в інших частотних діапазонах [3, 4]. У ММДХ також необхідно робити вибір з різних варіантів функціональної побудови СБРЛ, зондуючим сигналом і методом його обробки. Ці фактори, а також раціональний вибір діаграм направленості (ДН) антен, впливають на відношення сигнал/шум в приймачі і на точність у визначенні області прийняття рішень СБРЛ.

Технологічні аспекти створення перспективної СБРЛ. Враховуючи очевидне відставання рівня вітчизняних розробок в технологічній галузі створення мініатюрних вузлів і компонентів СБРЛ взагалі і в діапазоні міліметрових хвиль (ММДХ) зокрема, доцільно проводити аналіз стану елементної бази діапазону 53 ... 60 ГГц для створення перспективної СБРЛ на прикладі доступних зарубіжних розробок.

Традиційно, протягом більш 30 років вузли та компоненти пристроїв міліметрового діапазону реалізовувалися у вигляді хвилеводних конструкцій. Перехід до міліметрових хвиль від дециметрових і сантиметрових дозволяє істотно зменшити габарити систем в хвилеводному виконанні. Однак з появою мікрополоскових технологій переваги міліметрового діапазону в габаритах засобів доставки стало досить умовним. Більше того, застосування хвилеводних пристроїв в артилерійських системах часто обмежене через значні переваження при польоті. Безумовно, існують технічні рішення, які дозволяють забезпечити міцність кріплення активних елементів, але розміри хвилеводних пристроїв як і раніше залишаються великими і не дозволяють реалізувати малогабаритні пристрої зі складними сигналами і відповідною обробкою.

Можна сказати, що справжньою революцією в області техніки і технології ММДХ стала поява сучасних напівпровідникових і діелектричних матеріалів, що дозволяють будувати мікромодулі, які вбудовуються в мікрополоскові конструкції. Провідні країни світу в останній час все більше прагнуть до мініатюризації електронних пристроїв, в тому числі і міліметрового діапазону. При цьому спостерігається концентрація виробництва механічної частини і електронної в рамках однієї фірми. Так, наприклад, американська аерокосмічна корпорація Nortrop Grumman в результаті придбання компанії TRW стала провідним виробником інтегральних схем міліметрового діапазону, в тому числі діапазону 53 ... 60 ГГц. У номенклатурі виробів підрозділу Velocium фірми Nortrop Grumman є: підсилювачі потужності, змішувачі, помножувачі частоти, малощумні підсилювачі (МШУ).

Як приклад, розглянемо деякі характеристики цих пристроїв і можливі схеми їх використання в СБРЛ. У номенклатурі виробів є практично всі ключові модулі для побудови приймально-передавальної частини СБРЛ. Опорний сигнал ППМ формується в області частот 14 ... 16 ГГц, що на сьогоднішній день не є технічною проблемою і також реалізується в мікрополосках. У цьому діапазоні частот є можливість побудови генераторів з фазоковою маніпуляцією (ФКМ), лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ) з великою девіацією частоти, шумових і комбінованих. Зауважимо, що формування складного сигналу на сьогоднішній день є одним з найбільш ефективних способів розпізнавання малопомітних цілей на фоні підстилаючих поверхонь. У Європі лідируючі позиції в розробці та виробництві інтегральних схем міліметрового діапазону займає концерн United Monolithic Semiconductors (UMS). Цей концерн займає лідируючі позиції з виробництва мікроелектронних виробів міліметрового діапазону аж до частот 110 ГГц. Основними споживачами продукції є фірми, що працюють в галузі озброєнь, космічних досліджень телекомунікацій. Найбільший інтерес з точки зору проектування і створення СБРЛ є тісна співпраця UMS с THALES і EADS, світовими лідерами з розробки електроніки для СБРЛ. У кооперації з компанією Ansoft розроблено пакет моделювання пристроїв діапазону до 60 ГГц – Ansoft Designer/Nexxim.

Основне виробництво концерну UMS зосереджено в Європі в містах Ульм (Німеччина) і Орсей (Франція). На основі комплектуючих UMS можуть бути реалізовані дві функціональні схеми приймачів, які можуть бути використані в СБРЛ. За своєю

номенклатурою та характеристикам виробу UMS близькі до характеристик Nortrop Grumman.

Крім виготовлення самих мікромодулів, особливе місце займає технологічний аспект їх складання в закінчені функціональні модулі. У цій області найбільш вражаючих результатів досягли дві фірми: THALES і EADS. Інформація про технології, що використовуються першою з них в доступних джерелах майже відсутня. У той же час про технології, що використовуються European Aeronautic Defence and Space Company (EADS) добре відомо в силу подвійного їх застосування. В якості основи для монтажу мікромодулів та формування необхідних пасивних структур використовують, як звичайні діелектричні матеріали Rogers RO4003 і Taconic TLE95, так і спеціальні – Tacamplus.

Було проведено порівняльний аналіз цих матеріалів і визначено, що спеціально розроблений для ММДХ матеріал Tacamplus має дуже хороші характеристики. Говорити про доступність цього матеріалу поки рано, однак необхідно розробляти аналогічні матеріали і в Україні. Також виявлено, що матеріал RO 4003 також може бути використаний.

Висновок. Таким чином, принципових труднощів при конструюванні і виготовленні плат для мікромодулів ММДХ немає. Є технологічні та конструктивні особливості, які слід враховувати. Також необхідно мати відповідне технологічне і вимірювальне обладнання. Відставання в технологічному плані на сьогоднішній день оцінюється в 3 ... 5 років. Але на сьогодні є кадровий потенціал, здатний скоротити це відставання, але немає устаткування і засобів вимірювань. Силами ВАТ «Мередіан» та Державного підприємства "Науковий центр точного машинобудування" в рамках різних проєктів здійснюється спроба вирішення деяких технічних та технологічних проблем при конструюванні і виготовленні мікромодулів. Однак ці спроби, найчастіше, засновані на ентузіазмі і ніяк не підкріплені з боку держави.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Куприянов М.С. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования / М.С. Куприянов, Б.Д. Матюшкин. – СПб: Политехника, 2000. – 594 с.
4. Канащенко А.И. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития / Под ред. А.И. Канащенко и В.И. Меркулова –М.:Радиотехника – 2003. – 416 с.

Рецензент: д.т.н, проф. Вишнівський В.В., старший науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н. Мирошніченко О.В., Панин В.Г., Бивалькевич Р.В.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ

В статье рассматриваются тенденции развития бортовых систем ближней радиолокации (СБРЛ). Приведены результаты сравнительного анализа помехоустойчивости СБРЛ в различных частотных диапазонах. Рассмотрены технологические аспекты создания перспективной СБРЛ, функционирующей в диапазоне 53...60 ГГц.

Ключевые слова: система ближней радиолокации, помехоустойчивость.

O. Miroshnichenko, V. Panin, R. Bivalkevich

TRENDS AND COMPARATIVE ANALYSIS OF POMEHOZASHCHISHCHENNYH SHORT-RANGE RADAR

Progress of the side systems of near radio-location(SNRL) trends are examined in the article. Results over of comparative analysis of antijammingness of SNRL are brought in different frequency ranges. The technological aspects of creation of perspective SNRL functioning in a range 53...60 Ggc are considered.

Keywords: system of near radio-location, antijammingness.