

ПРОБЛЕМИ ТА ПРОТИРІЧЧЯ У СТВОРЕННІ ТА РОЗВИТКУ СИСТЕМ ВТОРИННОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ ДЛЯ ВПІЗНАВАННЯ “СВІЙ-ЧУЖИЙ” ТА КЕРУВАННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Харківський національний університет Повітряних Сил

Анотація.

Розглянуті організаційні та технічні проблеми, протиріччя у справі контролю польотів повітряних суден, в першу чергу – у військовій справі, розрішення яких привело до появи і спонукало подальший розвиток у світовій практиці систем вторинної радіолокації (систем активного запиту та відповіді). Показані сучасні проблеми, стан і можливі подальші напрямки розвитку систем і засобів вторинної радіолокації військового призначення.

Ключові слова: вторинна радіолокація; впізнавання “свій-чужий”; керування повітряним рухом; система вторинної радіолокації; режим запиту; історія; проблеми; протиріччя; розвиток; перспективи.

Abstract.

The organizational and technical problems and contradictions in aircraft flight control, primarily in military affairs, are considered, the resolution of which led to the creation and further development of secondary radar systems (active interrogation and response systems) in global practice. The article highlights current problems, the current state, and possible future directions for the development of military secondary radar systems and equipment.

Keywords: secondary radar; identification Friend or Foe; air traffic control; secondary radar system; mode of interrogation; history; problems; contradictions; development; prospects.

Щоб визначити напрямок подальшого розвитку системи радіолокаційного впізнавання України, треба розглянути проблеми і протиріччя, вирішення яких приводило до створення та/або якісного покращення систем вторинної радіолокації (ВРЛ) у світі, зв'язок військових та цивільних систем.

Зародження радіолокаційного впізнавання за принципом “Свій-чужий”

Потреба у засобах радіолокаційного впізнавання виникла ще в часи II світової війни з появою радіолокаторів і необхідністю впізнавати цілі за принципом “свій-чужий” на великих відстанях, оскільки наявні акустичні та візуальні засоби, навіть наближені до лінії фронту, не вирішували цієї задачі [1 – 4]. Перші спроби зробили у Люфтваффе періодичною комутацією спеціального відбивача на літаку, що змінював ефективну поверхню розсіювання і викликав мерехтіння ехо-сигнала на екранах РЛС метрового діапазону. Але поява РЛС інших діапазонів змусила розробляти спеціальну апаратуру, що функціонувала за принципом запит-відповідь в УКХ діапазоні радіохвиль. Така ж апаратура з'явилась і в союзників антигітлеровської коаліції (системи Mk II, Mk III, Mk IV), СРСР (система “Кремній-1”).

Розширення кола користувачів і вимоги щодо підвищення розрізняльної (роздільної) здатності привели розробників апаратури впізнавання до необхідності застосування дециметрового діапазону радіохвиль (система Mk X), єдиних фіксованих частот (система Mk X(SIF): запит – 1030 МГц, відповідь – 1090 МГц, радянська система “Кремній-2”: запит і відповідь на частоті 668 МГц) і кодування короткоімпульсними сигналами.

Необхідність індивідуального впізнавання

Після війни з розвитком реактивної авіації і ускладнення керування нею виникла потреба індивідуального впізнавання окремих літальних апаратів, повідомлення спеціальними сигналами про аварійний стан (Emergency). Були розроблені та впроваджені в системі Mk X(SIF) (SIF – Selective Identification Features) режим 1 (загального впізнавання), режим 2 (індивідуального впізнавання) та режим 3 керування повітряним рухом. У системі Mk XA, яка застосовується донині у багатьох країнах світу, розширені можливості індивідуального впізнавання збільшенням кількості кодів до 4096 та впроваджений режим запиту барометричної висоти польоту – режим C [5], який забезпечив контроль ешелонування в повітрі та підвищив безпеку польотів.

Радянські системи “Кремній-2”, “Кремній-2М” мали можливість індивідуального впізнавання лише двох об'єктів упізнавання. У системі “Пароль” забезпечена можливість розрізнення повітряних,

надводних та наземних об'єктів використанням спеціальних кодів запиту, можливість індивідуального впізнання кожного із 99999 повітряних об'єктів за 5-значним кодом відповіді, надводних – 999 за 3-значним кодом відповіді. Для керування авіацією система набула важливу можливість повідомлення про висоту польоту та залишок пального у відсотках до повної заправки [6]. Власні радіочастоти виключили можливість створення взаємних перешкод з цивільною системою вторинної радіолокації для керування повітряним рухом та телебаченням дециметрового діапазону.

Проблема імітостійкості впізнання “Свій-чужий”

Невелика кількість кодів відповіді дозволяє швидко визначити діючий код та імітувати сигнали відповіді на запит противником, що застосовувала, наприклад, авіація США в часи війни у В'єтнамі. Вирішити задачу забезпечення імітостійкості каналу відповіді, яку вважають імітостійкістю системи впізнання [1, 2], можна методом так званого закритого кодування [2] з великою кількістю кодів запиту, що вибираються випадково в кожному періоді запиту, і розрахунком коду відповіді з коду запиту.

Розвиток елементної бази (транзистори, далі – мікросхеми) дозволив реалізувати компактну криптоапаратуру формування та оброблення сигналів запиту і відповіді для запобігання спробам імітації сигналів відповіді (режими загального імітостійкого впізнання – режим 4 системи Mk XII, II режим системи “Пароль”). Випадкове формування кодів запиту з обчисленням коду відповіді криптоалгоритмом з міжперіодним критерійним обробленням сигналів відповіді у запитувачах знизили імовірність імітації методом “навздогад” на декілька порядків.

Упровадження та розвиток систем вторинної радіолокації для керування повітряним рухом

Розвиток авіаційних перевезень у США зі зростанням навантаження на диспетчерів керування повітряним рухом змусив Федеральну авіаційну адміністрацію США використати досвід застосування військової системи впізнання. Цивільна система ATCRBS (Air Traffic Control Radar Beacon System) позичила режим 3, який отримав позначання режим А та режим С. Згодом ця система набула статус міжнародної системи оглядової вторинної радіолокації SSR (Secondary Surveillance Radar), стандартизованої документом Міжнародної організації цивільної авіації ICAO [9]. Назва “вторинна” походить з того, що основною (первинною) вважалась інформація ехо-локаторів, а інформація ATCRBS – додатковою. Зі зростанням технічної надійності апаратури SSR та розширенням інформаційних можливостей ролі систем помінялись, а назви залишились.

З подальшим зростанням інтенсивності польотів система SSR досягла межі своїх можливостей: мала кількість кодів режиму А викликала проблему однозначного впізнання, суттєво зросли щільності внутрішньосистемних перешкод і взаємних перешкод з системою Mk XII, що навіть значно обмежило застосування режиму 4 Mk XII у мирний час. Проблеми були вирішені винайденням у Великобританії дискретно-адресної системи DABS, яка зараз є багатофункціональним режимом S системи SSR [9]. У режимі S реалізовані адресний запит і відповідь, що усунуло проблему внутрішньосистемних перешкод. Кожне повітряне судно у світі отримало індивідуальний номер (адресу) ICAO. Формат ADS-B беззапитного випромінювання інформації, включаючи координати в системі WGS-84, спростило покриття полем вторинної радіолокації простими приймальними станціями ADS-B. Режим S запроваджений також у систему Mk XII, хоча й з певними обмеженнями.

Система вторинної радіолокації CPCR створювалась незалежно зі своїми радіочастотами і навіть різною поляризацією радіохвиль. У кожному цивільному і військовому літаку були встановлені відповідачі системи впізнання “Кремній-2(М)” і системи ВРЛ, яка відповідно до стандарту [10] забезпечувала роботу в так званому режимі УВД (код 3K1 запиту бортового номера і 3K2 запиту висоти). Для керування іноземними повітряними суднами і виконання польотів авіації CPCR за кордон система включає режим RBS (режими А і С системи SSR). Згодом цивільна авіація відмовилась від цієї системи і перейшла на систему SSR, для керування військовою авіацією режим УВД досі використовується в радіолокаційних системах посадки, а відповідачі надають коди номера і висоти відповідачам системи “Пароль”, які не мають власних пристроїв кодування цієї інформації.

Захист від несанкційованого використання системи впізнання противником

Несанкційоване використання системи радіолокаційного впізнання [7] (Exploitation [8]) – виявлення об'єктів з відповідачами та/або запитувачами і здобування інформації про них провокуванням відповідей або пасивним перехоплюванням сигналів.

З вирішенням проблеми забезпечення імітостійкості каналів відповіді залишилась проблема імітостійкості каналів запиту. Імітування сигналів запиту, коди яких незмінні, для запиту об'єктів противника з метою виявлення, впізнання та отримання індивідуальних характеристик, є простою

задачею. Під час війни у В'єтнамі США використовували імітатори запитувачів системи впізнання “Кремній-2” AN/APX-108, які забезпечували виявлення літаків північного В'єтнаму. При цьому літаки F4 лише визначали факт наявності поблизу літака “червоних”, а F16 вже визначав і напрямок. Виявлення та впізнання в системі “Пароль” радянської авіації, що діяла в Афганістані, здійснювалось літаками системи AWACS, що баражували над територією Пакистану. Експериментальний запитувач системи Mk XA з 1988-го по 1991-й роки застосовувався в радіотехнічному підрозділі Військ ППО СРСР близько кордону з Норвегією. Аналізом наявності відповіді в режимах 1, 2, 3/A та кодів відповіді забезпечував розпізнавання “Військовий-цивільний”, класу (бойовий, розвідувальний, військово-транспортний) і навіть типу літаків (F-16, P-3C, C-130).

Для забезпечення запиту в імітостійких режимах загального впізнання потрібна попередня розвідка діючого коду запиту і пов'язаного з ним коду відповіді. Згідно з інформацією [11], російський наземний вторинний радіолокатор “Стюардеса”, а також літаки А-50 (модернізований) та А-100 здійснюють розвідку діючих кодів режиму 4 системи Mk XII і запит у цьому режимі.

З розширенням об'єму запитуваної/передаваної інформації, зокрема з впровадженням у систему Mk XII цивільного режиму S з багатьма форматами зростала небезпека несанкціонованого використання інформації. Проблема імітостійкості каналів запиту може бути вирішеною шифруванням інформації зі швидкою зміною діючого ключа, що фактично реалізував режим 5 системи Mk XIIA [4, 12], використовуючи час як змінний елемент криптоалгоритма. Цей режим, побудований на сучасних принципах криптографії – використання стандартного алгоритму, доступного усім користувачам з індивідуальними ключами – може застосовуватись самостійно без “відкритих” режимів і тому поширюється не лише в країнах НАТО, а також як національний режим з власною ключовою системою в позаблокових країнах (Японія, Південна Корея, Бразилія, Китай).

Застосування спільної ключової системи поєднує країни-союзники, що як додатковий чинник показує напрямок розвитку системи впізнання України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Радиолокационное опознавание. Ч. I. Системы радиолокационного опознавания и их основные параметры/Бахарев А. П. и др./под ред. А. Л. Чугунова. М: Сов. радио, 1962. 232 с.
2. Маляренко А. С. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного радиолокационного опознавания: Справочник. Харьков: ХУВС, 2007. 78 с.
3. Air defence 1940-1970/military IFF and secondary radar – a historical review. URL: https://www.researchgate.net/publication/285626211_Air_Defence_1940-1970Military_IFF_and_Secondary_Radar_-_A_Historical_Review (дата звернення: 17.10.2024).
4. Overview of Secondary Surveillance Radar (SSR) and Identification Friend/Foe (IFF) Systems. URL: <https://iee.li/pdf/viewgraphs/overview-of-ssr-and-iff-systems.pdf> (дата звернення: 17.10.2024).
5. STANAG 4193. Technical characteristics of IFF Mk XA and Mk XII interrogators and transponders. Part I (Ed. 2): General description of the system. Brussels: Military Agency for Standardization, 1990.
6. ДСТУ В 9042:2020. Засоби радіолокаційної системи державного впізнання. Літакові запитувачі та відповідачі. Загальні технічні вимоги; чинний від 2020-11-01. Вид. офіц. Київ : ДП “УкрНДНЦ”, 2020. 26 с.
7. ДСТУ 4550:2023. Система державного впізнання об'єктів. Упізнання радіолокаційне. Терміни та визначення понять. На заміну ДСТУ 4550:2006; чинний від 2023-12-01. Вид. офіц. Київ : ДП “УкрНДНЦ”, 2023. 30 с.
8. AAR 28(B). NATO Glossary of Identification. NATO Standardization Agency, 2002.
9. Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation. Aeronautical Telecommunications. Vol. IV Surveillance and Collision Avoidance Systems. Fifth Edition. ICAO, July 2014.
10. ГОСТ 21800–89. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением. Общие технические требования; с 01.07.1990. Изд. стандартов, 1989. 75 с.
11. Буренок В. М., Москаленко В. И., Соломенин Е. А. Направления развития системы опознавания. *Вооружение и экономика*. 2012. № 1(17). URL: <http://www.viek.ru/17/3-7.pdf> (дата звернення: 05.11.2020).
12. What are SSR Modes? Mode S and Mode 5. URL: <https://paktechpoint.com/what-are-ssr-secondary-surveillance-radar-modes-mode-s-and-mode-5> (дата звернення: 17.10.2024).

Маляренко Олександр Сергійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: a_mal@meta.ua.

Oleksandr Maliarenko – philosophy doctor in engineering, senior researcher, leading researcher of scientific research department of Air Force science center, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: a_mal@meta.ua.