

Г.А. Медведєв, О.Г. Яровенко, Т.І. Карнаух

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

ТЕХНІЧНИЙ ОБРИС ПЕРСПЕКТИВНОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПРИЦІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ТАКТИЧНОГО ЛІТАКА

Аналіз технічних характеристик і функціональних можливостей радіолокаційних прицільних комплексів тактичних літаків Повітряних Сил Збройних Сил України, досвіду їх участі в бойових діях, а також світових тенденцій розвитку радіолокаційної техніки показує необхідність удосконалення (заміни) їх бортових радіолокаційних станцій. У статті пропонується технічний обрис перспективного радіолокаційного прицільного комплексу на базі РЛС з активною фазованою антенною решіткою, розглядаються можливі шляхи практичної реалізації зазначених пропозицій, акцентується необхідність забезпечення інтеграції нового обладнання зі штатним бортовим комплексом літака.

Ключові слова: тактичний літак, радіолокаційна станція, прицільний комплекс, фазована антенна решітка, бортове обладнання

Вступ

Постановка проблеми. Радіолокаційна станція (РЛС) є основою радіолокаційного прицільного комплексу (РЛПК) та головним інформаційним джерелом комплексу бортового обладнання тактичного літака в цілому. Вона має ключове значення для забезпечення ефективного застосування керованих засобів ураження. На сучасних літаках (покоління 4+ та 5) встановлюються багатофункціональні РЛС (з режимами роботи як по повітрю, так і по землі), що значною мірою визначає багатофункціональність бойового літака в цілому. Такі РЛС мають активну фазовану антенну решітку (АФАР) [1, с. 56]. Саме це, передусім, обумовлює їх розширені спроможності.

Порівняно з кращими закордонними аналогами тактичні літаки Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил (ЗС) України мають невисокі характеристики дальності виявлення повітряних цілей штатними застарілими РЛС. Окрім того, зазначені системи в базовому варіанті не забезпечують режими роботи по наземних цілях [2, с. 18...20; 3, с. 157...162]. Це суттєво обмежує бойові можливості української тактичної авіації в умовах збройного протистояння з російським агресором.

Нині в повітряно-космічних силах російської федерації здійснюються заходи з оновлення парку тактичних винищувачів 4-го покоління МиГ-29 та Су-27 на літальні апарати (ЛА) покоління 4+ (4++): багатоцільові винищувачі МиГ-35 та Су-35, на яких встановлюються бортові РЛС типу Н010 “Жук-А” та Н035 “Ірбис-Э”. У перспективі планується

оснащення літаками 5-го покоління Т-50, на яких буде встановлено РЛС типу Н036 “Белка” [1].

Отже, удосконалення радіолокаційних прицільних комплексів (РЛПК) тактичних літаків ПС ЗС України є нагальним науково-технічним завданням для досягнення відносного паритету з можливостями сучасних літаків держави-агресора.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій.

Питання удосконалення існуючих і створення нових бортових РЛПК літаків сучасної військової авіації є пріоритетним для збройних сил та науково-промислових установ багатьох провідних у військово-технічному питанні країн. Їх досвід може слугувати орієнтиром при пошуку раціональних шляхів оснащення українських тактичних літаків сучасними РЛПК.

Одним з найвідоміших прикладів робіт щодо покращення бойових можливостей літаків попереднього покоління є багаторічна програма модернізації літаків F-16 у бойовому складі повітряних сил різних держав [4]. Так, виробництво та подальше вдосконалення літаків F-16A/B здійснювалося поетапними серіями, що привело до появи так званих “блоків” (версій літаків з відповідним обладнанням та озброєнням). Зокрема, на винищувачах F-16 однієї з перших серій (Block 15) було впроваджено програму модернізації MSIP I, яка передбачала встановлення удосконаленого радару AN/APG-66. У подальшому було реалізовано програму MLU (Mid-Life Upgrade), за результатами якої літаки отримали радар AN/APG-66(V)2. Зазначені роботи, окрім безпосереднього покращення

характеристик бортових РЛС, передбачали також комплекс пов'язаних з цим заходів: впровадження цифрової електронної системи управління та нового індикатора на лобовому склі (ІЛС), удосконалення навігаційних засобів, оснащення новою станцією радіоелектронної боротьби (РЕБ) AN/ALQ-131 у підвісному контейнері та керованими ракетами класу “повітря-повітря” з активною радіолокаційною головкою самонаведення (ГЧН) AIM-120 AMRAAM. Отже, радар дійсно почав виконувати функцію ключового елемента інтегрованого бортового комплексу. Подальше вдосконалення відмічене встановленням радару AN/APG-66(V)3 (літак F-16 Block 20) та AN/APG-68 (літак F-16 Block 25). Вони відрізнялися більшою дальністю дії, кращою роздільною здатністю та значно ширшим набором режимів роботи. Основною відмінністю нового варіанту літака (Block 40/42) стали розширені можливості для завдання ударів по наземних цілях. Наряду з удосконаленим радаром AN/APG-68(V) було впроваджено підвісну прицільно-навігаційну систему LANTIRN і новий пристрій попередження про радіолокаційне опромінення AN/ALR-56M. У результаті наступного раунду модернізації літаки Block 50/52 отримали нову РЛС AN/APG-68(V)3 з удосконаленим процесором і розширеним спектром режимів роботи. Частина винищувачів набула здатності застосовувати протирадіолокаційні ракети AGM-88 HARM (літак F-16CJ/DJ). Новою версією є літак Block 60 (одномісний F-16E та двомісний F-16F), що обладнаний РЛС AN/APG-80 з АФАР розробки компанії “Нортроп Грумман”. Цей радар здатний одночасно працювати в режимах “повітря-повітря” і “повітря-поверхня” та взаємодіє із вбудованою (не контейнерною) оптико-електронною станцією для застосування високоточної зброї, а також інтегрованою системою РЕБ “Фалкон Едж” зі станцією активних перешкод AN/ALQ-165. Найновішим варіантом є літак F-16V “Вайпер”, головним нововведенням якого є РЛС із АФАР AN/APG-83, яка здатна одночасно супроводжувати понад 20 повітряних цілей. Також на літаку повністю оновлено обладнання кабіни (великоформатний центральний дисплей, сучасний комплекс засобів зв'язку, комп'ютери місій та аеродинамічних даних, процесор відображення інформації, інерціально-супутникова навігаційна система та нашоломний індикатор). Так, історія удосконалення літаків F-16 пов'язана, у першу чергу, з покращенням технічних характеристик і режимів роботи бортової РЛС, що у взаємодії з іншими системами прицілювання, навігації, зв'язку та передачі даних, РЕБ забезпечило поступове розширення бойових можливостей і

підвищення бойового потенціалу літака в цілому. Найдосконаліші нині бортові РЛС – це багаторежимні радары з високими показниками дальності виявлення цілі, роздільної здатності та перешкодозахищеності.

У програмах модернізації інших сучасних найбільш розповсюджених тактичних літаків акцент робиться не стільки на прямому підвищенні технічних параметрів РЛС, скільки на вдосконаленні інтегрованого бортового комплексу та взаємодії його компонентів при ключовій ролі радару. Особливої уваги заслуговує досвід програм створення літаків JAS 39A “Gripen” та “Mirage-2000”. Так, шведський тактичний винищувач JAS 39A у базовому варіанті має РЛС PS-05/A, що було розроблено фірмою “Еріксон” [5]. Чотири модифікації комплексу радіоелектроніки літака відрізняються здебільшого потужністю бортової цифрової обчислювальної машини (БЦОМ), можливостями пристроїв відображення інформації в кабіні екіпажу (в останніх версіях монохромні багатофункціональні дисплеї замінені кольоровими) та функціоналом систем РЕБ. Базова РЛС здатна виявляти повітряні цілі типу “винищувач” на відстані до 120 км, а автомобілі, що рухаються, – до 70 км. Також вона має режим картографування місцевості. При роботі в режимі “повітря-повітря” радар здатен супроводжувати до десяти цілей і наводити ракети на чотири з них. Особливістю “Gripen” є те, що його ефективно застосування забезпечується не стільки характеристиками бортової РЛС, скільки активним використанням обміну даними в загальному інформаційному середовищі. Його система зв'язку й передачі даних CDL 39, на думку фахівців, відноситься до кращих у світі (наприклад, вона має більшу швидкість обміну даними, ніж відомі системи інформаційного обміну JTIDS та Link 16). Система забезпечує взаємодію винищувачів з літаками дальнього радіолокаційного виявлення і управління (ДРЛБУ), літаками радіоелектронної розвідки, а також наземними командними пунктами. CDL 39 забезпечує тактичну гнучкість, що дає змогу літаку під час ударної операції здійснювати атаку, отримуючи радіолокаційне зображення району цілі й передаючи його іншим винищувачам, які можуть навіть вимикати власні РЛС для непомітного наближення до цілі. Новий варіант винищувача “Gripen NG” (з покращеними аеродинамічними характеристиками, збільшеною максимальною масою корисного навантаження та вдосконаленим комплексом РЕБ EWS 39NG) має сучасну бортову РЛС ES-05 “Рейвен”. Ця система належить до нового покоління радіолокаційних засобів і має АФАР з відповідними

функціональними можливостями і технічними характеристиками.

Літак “Mirage-2000” [6] у штатному варіанті мав РЛС “Томсон-CSF” RDM (дальність дії 60 км...70 км). Перші серійні винищувачі не забезпечували застосування керованих ракет “повітря-повітря” з напівактивною радіолокаційною ГСН. У подальшому версія літака “Mirage-2000C” обладнувалася РЛС RDI зі збільшеною до 100 км дальністю дії та покращеними можливостями розпізнавання цілей на фоні землі.

Багатьма експертами підкреслювалося відставання бойових можливостей літака “Mirage” у базовому винищувальному варіанті від нових модифікацій американського винищувача F-16. Задля подолання цього відставання французькі конструктори створили нову версію “Mirage-2000-5 Mk2”. Цей літак отримав багатофункціональну РЛС RDY-2 з можливістю супроводження до 24 цілей і наведення на чотири з них, а також інші вдосконалені компоненти бортового комплексу (навігаційну систему, нові багатофункціональні індикатори, ширококутний індикатор на лобовому склі та адаптовану для роботи в окулярах нічного бачення кабіну, нові засоби РЕБ і прицільні контейнери). Зазначена модифікація літака може ефективно виконувати не тільки винищувальні, а й ударні функції.

Ретельного аналізу потребують також програми розвитку бортових радіолокаційних систем літаків країни-агресора [1]. РЛС типу Н010 “Жук-А” та Н035 “Ірбис-Э”, які встановлюються на багатоцільові літаки покоління 4+ МиГ-35 та Су-35, можуть застосовуватися як по повітрю, так і по землі. За рекламними даними для РЛС Н010 “Жук-А” дальність виявлення повітряних цілей з ефективною площиною розсіювання (ЕПР) $\sigma = 3 \text{ м}^2$ – до 150 км у передній напівсфері та до 60 км у задній напівсфері. Стверджується, що РЛС Н035 “Ірбис-Э” має ще вищі показники, особливо щодо дальності виявлення наземних цілей. У перспективі на літаках 5-го покоління Т-50 буде встановлюватися нова РЛС типу Н036 “Белка”. Заявляється, що зазначена РЛС може мати дальність виявлення повітряних цілей до 400 км. У цілому заплановано здійснити заходи щодо створення нової плеяди повітряної компоненти в єдиній інтегрованій системі повітряно-космічних сил рф, що включатиме окрім винищувальної авіації, літаки ДРЛВУ, супутники-розвідники, безпілотні авіаційні комплекси (БпАК).

Мета цієї статті – на основі аналізу сучасних науково-технічних тенденцій розвитку радіолокаційних систем виявлення та спостереження повітряних і наземних цілей,

передового світового досвіду створення кращих зразків зазначених систем сформувати технічний обрис нового (удосконаленого) РЛПК для тактичного літака ПС ЗС України та шляхів вирішення проблем, що виникають при цьому.

Виклад основного матеріалу

Для аналізу, досягнутого на даний час у світі науково-технічного рівня розвитку авіаційних радіолокаційних систем, доцільно розглянути найбільш характерні приклади передових зразків бортових РЛС сучасних тактичних літаків і визначити їх загальні риси та особливості.

Головною ознакою сучасного покоління бортових РЛС є революційний перехід від технології антен з електромеханічним скануванням до використання архітектури АФАР (*AESA – active electronically scanned array*), що забезпечує перевагу в багатозадачних операціях. Встановлення сучасної багатофункціональної РЛС з АФАР на тактичний літак дає змогу:

суттєво розширити його бойові можливості за рахунок збільшення дальності виявлення повітряних і наземних цілей, впровадження режиму картографування земної поверхні та забезпечення одночасної атаки кількох цілей;

забезпечити застосування різноманітних керованих авіаційних засобів ураження (АЗУ), у тому числі західного виробництва, з покращеними характеристиками точності й дальності дії;

підвищити власну безпеку за рахунок забезпечення застосування нових керованих АЗУ без заходу в зону дії протиповітряної оборони (ППО) противника.

З конструктивної точки зору фазована антенна решітка складається з активних випромінюючих елементів (або їх груп, об'єднаних у багатоканальні модулі). При цьому напрямок випромінювання (форма діаграми направленості) регулюється зміною амплітудно-фазового розподілу струмів або полів збудження на індивідуальних випромінюючих елементах. Впровадження АФАР на сучасних бортових РЛС надає багато переваг порівняно з іншими типами антен, а саме:

отримання високої потужності опромінення за рахунок складання опромінення приймально-передавальних модулів;

можливість швидко та з високою точністю змінювати діаграму направленості антени;

створення діаграми направленості з необхідною кількістю променів;

можливість одночасного опромінення сигналів багатопроменевої діаграми направленості на різних частотах з різною частотою повторення імпульсів.

Основні характеристики кращих сучасних бортових РЛС за результатами проведеного аналізу представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні ТТХ сучасних бортових РЛС

Назва РЛС, виробник	Тип літака	Можливість роботи по землі	Кількість одночасно супроводж. цілей/ Кількість одночасно атакованих цілей	Дальність виявлення повітряних цілей	Дальність виявлення наземних цілей
РЛС західного виробництва					
AN/APG-63(V)1, RAYTHEON (США)	F-15C / D	+	14/ 6	160 км ($\sigma = 5 \text{ м}^2$) 50км ($\sigma = 1 \text{ м}^2$)	дані відсутні
AN/APG-63(V)2, RAYTHEON (США)	F-15C	+	14/ 6	160 км ($\sigma = 5 \text{ м}^2$) 50км ($\sigma = 1 \text{ м}^2$)	дані відсутні
AN/APG-63(V)3 AESTA, RAYTHEON (США)	F-15E/F	+	14/ 6	215-278км ($\sigma = 5 \text{ м}^2$) 144-185км ($\sigma = 1 \text{ м}^2$)	дані відсутні
AN/APG-83, AESTA, NORTHROP GRUMMAN (США)	F-16 E/F F-16 Block 60	+	28/ дані відсутні	270-300 км ($\sigma = 5 \text{ м}^2$) 110км ($\sigma = 1 \text{ м}^2$)	500 км
AN/APG-83, NORTHROP GRUMMAN (США)	F-16V, F-16 Block 40, F-16 Block 50, F-16 Block 70/72, F-35	+	35/ дані відсутні	370 км ($\sigma = 5 \text{ м}^2$) 200км ($\sigma = 1 \text{ м}^2$)	дані відсутні
APG-68, NORTHROP GRUMMAN (США)	F-16C/D	+	дані відсутні	160 км ($\sigma = 3 \text{ м}^2$) 75км ($\sigma = 1 \text{ м}^2$)	148 км
APG-68(V)9, AESTA, NORTHROP GRUMMAN (США)	F-16D Block 52+s	+	дані відсутні	296 км ($\sigma = 3 \text{ м}^2$) 75км ($\sigma = 1 \text{ м}^2$)	148 км
AN/APG-81, AESTA, NORTHROP GRUMMAN (США)	F-35A/B/C	+	28/ 8	250км ($\sigma = 5 \text{ м}^2$) 160км ($\sigma = 1 \text{ м}^2$)	250 км ($\sigma = 3000 \text{ м}^2$) 60 км ($\sigma = 1 \text{ м}^2$)
AN/APG-77, NORTHROP GRUMMAN (США)	F-22 “Raptor”	+	20/ 6	300км ($\sigma = 5 \text{ м}^2$) 201-241 км ($\sigma = 1 \text{ м}^2$)	270-300 км ($\sigma = 3000 \text{ м}^2$) 60 км ($\sigma = 50 \text{ м}^2$)
AN/APG-79, AESTA (США)	F-18E/F	+	25/ 8	200км ($\sigma = 5 \text{ м}^2$) 150 км ($\sigma = 2 \text{ м}^2$)	дані відсутні
LKF601E, (KHP)	JF-17 Block 3	+	15/ 4	170км ($\sigma = 3 \text{ м}^2$)	300 км ($\sigma = 3000 \text{ м}^2$)
RBE-2AA, THALES (Франція)	Rafale	+	40 4 ... 6	165-195км ($\sigma = 5 \text{ м}^2$) 110-130 км ($\sigma = 1 \text{ м}^2$)	200 км ($\sigma = 3000 \text{ м}^2$)

Продовження таблиці 1

Назва РЛС, виробник	Тип літака	Можливість роботи по землі	Кількість одночасно супроводж. цілей/ Кількість одночасно атакованих цілей	Дальність виявлення повітряних цілей	Дальність виявлення наземних цілей
Сартор-Е, Консорціум EURORADAR (LEONARDO (Італія), HENSOLD (Німеччина), AIRBUS DEFENCE & SPACE (Велика Британія, Франція, ФРН)	Typhoon EF-2000	+	30/ 4 ... 6	130 км	200 км ($\sigma = 3000 \text{ м}^2$)
EL/M-2052, ELBIT (Ізраїль)	F-15, F-16, МиГ-29/35, Су-27/33/35, J-11, J-15, “Mirage 2000” “Haltejas”, “Jaguar”	+	до 64/ дані відсутні	20 км ($\sigma = 1 \text{ м}^2$)	250 – 300 км ($\sigma = 3000 \text{ м}^2$)
Raven ES-05, LEONARDO (Італія)	Jas-39 “Gripen E/F”	+	дані відсутні	До 300 км	дані відсутні
PS-05 Mk 4, SAAB (Швеція)	Jas-39 “Gripen”	+	дані відсутні	До 240 км ($\sigma = 5 \text{ м}^2$)	дані відсутні
РЛС виробництва рф					
Н010 “Жук-А”	МиГ-35	+	30/ 8	148 км у передній напівсфері 60 км у задній напівсфері	300 км ($\sigma = 3000 \text{ м}^2$)
Н035 “Ірбис-Э”,	Су-35	+	30/ 8	400 км у передній напівсфері 80 км у задній напівсфері	500 км ($\sigma = 3000 \text{ м}^2$)
Н036 “Белка”	Су-57 (Т-50)	+	62/ 16	398.2км ($\sigma = 1 \text{ м}^2$)	500 км

Джерело: розроблено авторами за матеріалами [1, 7...18]

Вивчення наявних відомостей щодо кращих зразків сучасних РЛС дає змогу визначити їх загальні характерні риси:

електронне сканування променю (принципова особливість АФАР) забезпечує миттєве (наносекундне) перемикання променю на $70^\circ \dots 120^\circ$ без механічного руху антени, підвищуючи швидкість реагування та стійкість до перешкод;

багаторежимність – передбачає одночасне виявлення цілей у повітрі (*air-to-air*), на землі (*air-to-ground*), високоточне картографування у режимі синтезованої апертури (*SAR*), а також відстеження рухомих надводних і наземних цілей, при цьому забезпечується одночасне виявлення великої кількості цілей і супроводження обраних з них для застосування відповідної зброї (*TWS – Track While Scan*);

висока потужність і чутливість – забезпечують збільшену дальність виявлення та стійкість до РЕБ за рахунок великої кількості (від 1000 до 2000 та більше) приймально-передавальних модулів (*TRM – transmit/receive modules*) з потужністю 10 Вт...20 Вт на елемент і технології використання рідкісноземельних матеріалів *GaN* (нітрид галію) в елементній базі;

інтегрування із засобами РЕБ, радіотехнічної розвідки (РТР) та іншими датчиками – забезпечує формування повної картини бою за рахунок злиття різних даних;

підвищена надійність – забезпечує середній час між відмовами більше 10 000 годин за рахунок відсутності механічного сканування;

покращена малопомітність (низька ЕПР) – забезпечується за рахунок адаптації до стелс-дизайну літака-носія.

Окрім представлених загальних тенденцій впровадження АФАР-архітектури, яка є домінуючою протягом останніх десятиріч, можна виділити також тренди, що є характерними для окремих літаків/країн, – це так звана “платформорієнтованість”. Наприклад, важкі двомоторні літаки (F-15, Typhoon, Су-57) мають радары з

більшою енергетикою і більшими апертурними масивами, легкі літаки (Tejas, JF-17) мають компактніші РЛС (тобто досягається компроміс між дальністю дії та масою радару).

У контексті постановки можливого завдання щодо створення такої сучасної високотехнологічної системи, як бортова РЛС з АФАР для вітчизняних тактичних літаків доцільно визначити ключові науково-технічні проблеми, які постають перед розробниками зазначених систем, та можливі шляхи їх вирішення.

Одним з головних складних технологічних питань при розробленні РЛС з АФАР є формування променя. Ключовим компонентом цієї технології є стандартизовані приймально-передавальні модулі (ППМ), кожен з яких містить підсилювач потужності, виконаний у вигляді двох монолітних інтегральних схем, феритовий циркулятор для перемикання приймального та передавального трактів, монолітний інтегрований обмежувач і малoshумовий підсилювач [19]. Усі ланцюги в схемі ППМ зазвичай виконані на основі арсенід-галієвої (*GaAs*) напівпровідникової технології (рис. 1).

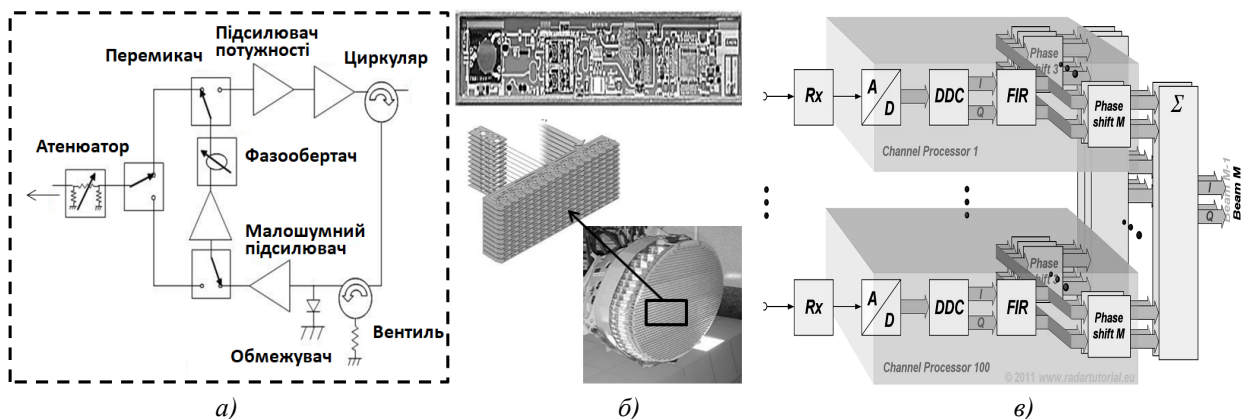


Рис. 1. Будова приймально-передавального модуля АФАР з цифровою системою керування
а) – функціональна схема ППМ, б) – складові ППМ АФАР, в) – архітектура DBF

Джерело: розроблено авторами за матеріалами [20...23]

Недоліками зазначеного рішення є те, що при великих кутах сканування коефіцієнт стоячої хвилі антени може бути досить високим, при цьому навантаження від відбитої хвилі негативно впливає на приймальний підсилювач, навіть до виводу його з ладу. Для зменшення цього навантаження в схемі використовуються вентиль та атенуатор, що призводить на великих кутах сканування до вимушеного зниження потужності РЛС. Сучасні радары, у ППМ яких використані технології на основі рідкоземельного кристалу нітрид галію (*GaN*), цього недоліку позбавлені. Зокрема, малoshумові вентилі, які виготовлені на основі *GaN*, дають змогу підсилювачам потужності

витримувати вхідний сигнал до 10 Вт і більше та забезпечують фазовий зсув до 270° по всьому частотному діапазону (0,01 ГГц ... 12,5 ГГц). Отже, елементна база з використанням рідкісноземельних матеріалів, що має значну вартість, є однією з головних проблем створення АФАР для сучасних РЛС.

У цілому для розробників ППМ головними завданнями є збільшення потужності випромінювання, зменшення їх маси та вартості. Для цього активно розвиваються технології високочастотних псевдоморфних транзисторів з високою мобільністю електронів і мініатюрних мікрохвильових роз'ємів, що зменшують втрати під

час передачі енергії тощо. Сучасним орієнтиром при створенні ППМ є показник їх потужності випромінювання до 20 Вт [20]. Іншим напрямом є розробка широкосмугових ППМ, які забезпечать високу чутливість радару, а також дають змогу краще інтегрувати його до бортового комплексу із засобами РЕБ та іншими радіоелектронними системами.

Проблемним питанням є також процес формування променя із загального масиву діаграм спрямованості антенної решітки. Для цього використовують цифрові приймачі (цифровий сигнал може бути повторений без втрат необхідну кількість разів). Цифрове діаграмоутворення (DBF — *Digital Beam Forming*) може бути реалізовано лише на рівні випромінюючих елементів чи їх невеликих груп (рівень підрешітки) [21, 22]. Архітектура DBF передбачає сукупність цифрових приймачів (по одному на кожен випромінюючий елемент антени). Перетворення на проміжну частоту та оцифровування прийнятих сигналів реалізуються для кожного елемента антени (або їх невеликих груп). Отже, однією АФАР може бути сформовано безліч незалежних променів, орієнтованих у різних напрямках. Для цього до складу системи включають спеціальний процесор формування діаграми. Перевагами, що досягаються при цифровому формуванні променя, є покращений динамічний діапазон приймача,

можливість керування кількома променями, більш ефективне та швидке керування амплітудою і фазою сигналів.

При пошуку шляхів вирішення науково-технічних проблем розроблення та серійного виготовлення РЛС з АФАР, які б мали конкурентні на сучасному рівні характеристики, виробники, у тому числі вітчизняні, повинні враховувати такі ускладнюючі фактори:

наявні обмеження щодо експорту оборонних і військових технологій (ITAR);

обмеженість доступу до сучасної елементної бази на основі рідкісноземельних кристалів;

складність технологічних рішень щодо цифрового керування формуванням діаграми направленості випромінювання.

Окрім розглянутих технологічних проблем, які необхідно вирішувати при створенні радарів, потрібно також враховувати складнощі, які виникають на етапі інтеграції нової РЛС до бортового комплексу тактичного літака. У сучасному розумінні радар — це своєрідний “сенсорний центр” літака, який обмінюється великою кількістю структурованих даних з багатьма бортовими системами. На основі проведеного аналізу можна сформувати в загальному вигляді таблицю відповідних інформаційних потоків такої взаємодії (табл. 2).

Таблиця 2

Інформаційна взаємодія РЛС з іншими компонентами бортового комплексу тактичного літака

Бортова система (засіб)	Дані від РЛС (вихідні)	Дані на РЛС (вхідні)
Обчислювальна система (комп'ютери місії, керування зброєю та авіонікою)	Параметри цілей (відстань, азимут, висота), їх швидкість (враховуючи ефект Доплера) та радіолокаційні характеристики (ЕПР) тощо	Відомості щодо потрібної обробки даних, режими сканування (пошук, супроводження, багатозадачний), пріоритизація цілей (рівень загроз); дані про статус зброї та датчиків
Системи навігації та керування польотом	Геолокаційні дані про цілі, висотні профілі, команди корекції траєкторії (по висоті та напрямку), попередження про перешкоди	Координати, швидкість і курс літака для контекстуалізації даних про цілі відносно власного руху; відомості про маневрові обмеження для адаптації режиму сканування
Засоби індикації (багатофункціональні дисплеї, індикатор на лобовому склі, нашоломний індикатор)	Позиційна інформація про цілі, їх відстані та швидкості (для відображення прицільної марки), відомості про загрози (для візуалізації льотчику)	Дані (від льотчика) про обрану ціль та режим керування прицілом (для активації супроводження цілі), запити на режим/масштаб відображення
Оглядово-прицільні системи (оптичні, інфрачервоні, лазерні)	Початкові координати та швидкість цілей (для ініціації трекингу та забезпечення наведення, наприклад, інфрачервоних датчиків на потенційні цілі)	Сигнатури цілей (наприклад, теплові) та дані їх траєкторій для візуалізації або уточнення радарних треків
Системи бортового комплексу оборони (засоби РЕБ)	Сигнатури електромагнітних сигналів (позиційні дані, режими та частотні діапазони джерел випромінювання противника)	Стратегії радіоелектронної протидії (наприклад, перемикання режимів, частот); інформація про виявлені РЛС противника (їх параметри) для уникнення конфлікту частот
Система державного впізнавання (засоби ідентифікації “свій-чужий”)	Параметри (тригери) запитів ідентифікації (азимут, час, дальність)	Параметри відповіді транспондера (код, статус, висота, дані режиму S), метка ідентифікації (“свій-невідомий-сумнівний”)
Засоби передачі даних (мережеві системи) для координації з іншими платформами (літаками, безпілотними апаратами, супутниками)	Дані про цілі (позиція, тип, рівень загрози) для розподілу між союзними силами	Дані від інших платформ (додаткові треки цілей, оновлення ситуації) для збагачення локальної радарної картинки; задання режимів/секторів пошуку та спостереження у кооперативних місіях

Джерело: розроблено авторами

Представлений перелік потоків інформаційного обміну не є вичерпним, оскільки залежить від конкретної моделі ЛА, але охоплює основні типові аспекти взаємодії РЛС з бортовими системами. Для реалізації цієї взаємодії на сучасних і перспективних літаках використовується шина даних з відповідним інформаційним стандартизованим протоколом (наприклад, MIL-STD-1553 для забезпечення обміну даних в реальному часі). У цілому така інтеграція РЛС до бортового комплексу забезпечує підвищення ефективності бойового застосування тактичного літака та його стійкість до перешкод й інших складних умов ведення бойових дій. Вирішення проблем щодо забезпечення на практиці зазначеної інтеграції є одним з основних завдань при впровадженні на літаку нової (модернізованої) РЛС.

З урахуванням проведеного аналізу перспективного світового досвіду та основних тенденцій розвитку радіолокаційних систем, їх місця та ролі в інтегрованому бортовому комплексі літального апарату, можна визначити технічний обрис перспективного радіолокаційного комплексу для оснащення тактичних літаків ПС ЗС України. Основою цього РЛПК має стати багаторежимна РЛС з АФАР. Її необхідними елементами (модулями), окрім антени, мають бути система формування імпульсів, високочастотні та низькочастотні приймачі, система охолодження, а також система управління і цифрової обробки. До складу перспективного РЛПК також повинні входити програмований цифровий обчислювач (бортовий комп'ютер) та система внутрішнього контролю. Залежно від конкретної реалізації (типу) РЛС склад РЛПК має бути уточнено щодо пристроїв керування, сервоприводів, блоків перетворення інформації та спряження з іншими системами. Необхідно буде також визначити можливість використання нових або штатних літакових засобів індикації та керування зброєю, нової або штатної системи рідинного і повітряного охолодження РЛС. Перспективний РЛПК повинен забезпечити виконання на новому якісному рівні завдань щодо багаторакурсного виявлення повітряних і наземних цілей, визначення їх координат і параметрів руху. Функціональні можливості й технічні характеристики такого РЛПК повинні відповідати кращим сучасним аналогам (табл. 1), принаймні на рівні літаків покоління 4+. Як центральний елемент бортового комплексу, перспективний РЛПК повинен інтегруватися з іншими системами літака: системою управління зброєю, оптико-електронним комплексом, навігаційним комплексом, системою єдиної індикації, бортовою обчислювальною системою, системою попередження про опромінення, системою державного впізнання,

системою об'єктивного контролю.

При аналізі можливих шляхів модернізації тактичних літаків найбільш швидким і таким, що забезпечить досягнення нового рівня спроможностей їх бортових комплексів представляється варіант зі встановленням на визначені ЛА сучасного РЛПК виробництва одного з провідних західних розробників – лідерів цієї галузі. До підприємств, що мають багаторічний досвід розроблення та виробництва РЛС, а також супроводження їх інтеграції на сучасних авіаційних платформах, можна віднести компанії Raytheon (США), Northrop Grumman (США), Thales (Франція), Leonardo (Італія), SAAB (Швеція), Elbit (Ізраїль) та деякі інші. Кращі зразки РЛС їх виробництва представлено в таблиці 1.

Іншим варіантом є розроблення сучасної РЛС силами вітчизняної промисловості. Цей шлях, який є привабливим з точки зору забезпечення підтримки вітчизняного виробника та незалежності від зовнішніх факторів при впровадженні нових виробів та подальшому супроводженні їх експлуатації, має бути оцінений з точки зору потенційних ризиків. Вони пов'язані, у першу чергу, з науково-технічними проблемами створення такого високотехнологічного обладнання, основні з яких було проаналізовано вище. В Україні є підприємства, що спеціалізуються в галузі радіолокаційної техніки, але на сьогодні немає відомостей щодо наявності готових для встановлення на літак виробів. Зрозуміло, що головною проблемою є створення АФАР, яка є квінтесенцією потрібних технологічних спроможностей. З цієї точки зору можливим є також варіант інтеграції фазованої антенної решітки закордонного виробництва до бортової РЛС (модернізованої штатної або нової розробки силами вітчизняного підприємства). За попередніми оцінками вдосконалена в такий спосіб РЛС майже не буде поступатися за характеристиками локаторам літаків покоління 4+, забезпечить взаємодію з усіма штатними та перспективними вітчизняними засобами ураження. Потребує уточнення оцінка вартості реалізації такого варіанту порівняно із закупівлею нової іноземної РЛС.

Можливе залучення іноземних компаній до реалізації проєктів глибокої модернізації літаків української тактичної авіації передбачає аналіз низки проблемних питань: технічних (щодо інтеграції систем закордонного виробництва до штатних бортових комплексів), комерційних (щодо суттєвої вартості реалізації відповідних проєктів) та військово-політичних (щодо ризиків отримання від іноземних урядів експортних дозволів на постачання високотехнологічних сучасних систем).

У цілому, прийняття рішень стосовно вибору найбільш раціонального варіанту оснащення

тактичних літаків сучасними РЛПК потребує проведення всебічного аналізу з урахуванням оцінок за критерієм “ефективність/вартість”.

З урахуванням зазначених вище ризиків залучення іноземних партнерів з одного боку та реальної ситуації в оборонно-промисловому комплексі України з іншого боку (складності опанування передовою технологією фазованих антенних решіток та в цілому надважкими умовами функціонування підприємств у країні, що відбиває зовнішню збройну агресію), може бути розглянуто й інші альтернативні варіанти підвищення бойових спроможностей тактичної авіації без вартісної та нелегкої заміни (або модернізації) бортових РЛС. Такою альтернативою може бути, зокрема, підхід, який заснований на використанні сучасного швидкісного перешкодозахищеного каналу обміну даними Data Link (найвідомішим прикладом є розповсюджений у збройних силах багатьох провідних країн інформаційний канал Link 16). Необхідне обладнання повинно бути встановлено не тільки на модернізованому, а й на інших літаках, а також наземних пунктах управління, що забезпечить інформаційну взаємодію по лініях “борт-борт”, “борт-земля”, “земля-борт”. Якщо такий інформаційний канал буде інтегровано з існуючими автоматизованими системами управління, то на літак зможуть передаватися відомості про цілі противника від систем протиповітряної оборони, літаків ДРЛВУ, наземних засобів радіоелектронної розвідки, а також безпілотних платформ. Це певною мірою компенсує недостатні характеристики власного радару ЛА. Водночас передові літаки зможуть також надавати в реальному часі оперативну інформацію на наземні пункти управління. У цілому, такий підхід спрямований не стільки на підвищення бойового потенціалу окремого індивідуального літака, скільки на побудову нової перспективної схеми організації бойового застосування авіації в цілому, заснований на інформаційній взаємодії всіх її компонентів. Багатьма експертами підкреслюється особлива роль літаків ДРЛВУ, які мають розширені спроможності виявлення об’єктів противника на великих дальностях, для формування загального інформаційного середовища [24; 25]. Це відповідає концепції ведення бойових дій в єдиному інформаційному просторі з використанням об’єднаних інформаційно-керуючих мереж, що отримала назву “мережочентричної війни” (*NCW – Network Centric Warfare*). Зазначена концепція передбачає створення розгалуженої мережі інформаційно забезпечених, але географічно розподілених сил. Збільшення бойової потужності

сил (учасників операції) досягається шляхом створення єдиного інтегрованого інформаційно-комунікаційного простору. Детальніший розгляд пов’язаних з реалізацією даного підходу проблем виходить за рамки даної статті.

Висновки

1. На літаках Збройних Сил України встановлені застарілі РЛС з характеристиками, що не відповідають сучасним вимогам по дальності, точності й багатофункціональності. В умовах відбиття збройної агресії рф питання удосконалення або заміни бортових РЛС набуває особливої ваги.

2. На основі аналізу передового світового досвіду сформовано пропозиції до технічного обриса та основних характеристик перспективного радіолокаційного прицільного комплексу для оснащення тактичних літаків ПС ЗС України. Основою цього РЛПК має стати багаторежимна РЛС з активною фазованою антенною решіткою.

3. Встановлення на тактичних літаках нових багатофункціональних РЛС з АФАР дасть змогу збільшити дальність виявлення повітряних і наземних цілей, впровадити режим картографування земної поверхні, одночасно атакувати декілька цілей, забезпечити застосування нових керованих авіаційних засобів ураження закордонного виробництва та підвищити власну безпеку ЛА.

4. Можливими шляхами реалізації зазначених пропозицій є залучення закордонних компаній — лідерів галузі до оснащення новими РЛС тактичних літаків ПС ЗС України або завершення розроблення вітчизняної РЛС з науково-методичною допомогою іноземних партнерів стосовно технології АФАР.

5. При інтеграції нової РЛС до бортового обладнання тактичного літака мають бути вирішені технічні питання, пов’язані із забезпеченням її функціонування в єдиному комплексі із засобами індикації, навігації, керування зброєю, РЕБ та передачі даних.

Напрями подальших досліджень. При аналізі альтернативних варіантів покращення бойових можливостей тактичних літаків, які не пов’язані безпосередньо із заміною РЛС, доцільно розглянути можливість впровадження сучасного перешкодозахищеного каналу інформаційного обміну. При цьому мають бути обґрунтовані вимоги як до потрібних бортових засобів літаків, у першу чергу, прийому-передачі даних та індикації, так і до інших учасників (абонентів) загального простору інформаційної взаємодії.

Список літератури

1. Денісевич К.В., Рибалко Е.М. Сучасні бортові радіолокаційні прицільні системи з використанням технології електронного сканування простору // 36. наук. праць ХНУПС. – Х.: ХНУПС, 2018. – Вип. 1 (55). – С. 55–58.
2. Бортовой комплекс самолетовождения, прицеливания и управления вооружением самолета МиГ-29Б (СУВ-29Э и сопрягаемые системы). – М.: ВВИА им. Жуковского, 1989. – 412 с.
3. Система управління озброєнням Су-27. Методичний посібник. / Під ред. Бойчука В.А. – К.: КВВАИУ, 1989. – 642 с.
4. Андрій Харук. F-16. Частина 1. 2023. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://militaryni.com/uk/blogs/dovidnyk-f-16-chastyna-1/>.
5. Андрій Харук. “Гріпен”. 2023. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://militaryni.com/uk/blogs/dovidnyk-gripen/>.
6. Андрій Харук. Міраж 2000. 2023. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://militaryni.com/uk/blogs/dovidnyk-mirazh-2000/>.
7. AN/APG-79 AESA Radar. Raytheon. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://www.rtx.com/raytheon/what-we-do/air/apg79aesa?utm_source=chatgpt.com.
8. SABR (Scalable Agile Beam Radar) APG-83 AESA. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://www.northropgrumman.com/what-we-do/mission-solutions/radars/sabr-scalable-agile-beam-radar-apg-83-aesa?utm_source=chatgpt.com.
9. AN/APG-82(V)1 AESA Radar. Raytheon. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://www.rtx.com/raytheon/what-we-do/air/apg82v1?utm_source=chatgpt.com.
10. ECRS MK2. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://uk.leonardo.com/documents/64103/22616345/LDO_UK24_00623%2BECRS%2BMK2%2BLQ.pdf/941e48cb-7bfa-4a05-ddd1-24df1934f444?t=1740640729437&utm_source=chatgpt.com.
11. Active Electronically Scanned Array - AESA RBE2 radar Thales. Markets and technologies. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://www.thalesgroup.com/en/markets/defence-and-security/air-forces/combat-systems/thales-board-dassault-aviation-rafale/active?utm_source=chatgpt.com.
12. The concise global industry guide radar and electronic warfare systems. Handbook. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://mags.shephardmedia.com/legacy-handbooks/REWSH2022.pdf/>.
13. ELM-2052 – Airborne AESA Fire Control Radar. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://www.iai.co.il/p/elm-2052?utm_source=chatgpt.com.
14. Northrop Grumman’s SABR radar goes agile. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://www.Militaryaerospace.com/commercial-aerospace/article/14232330/northrop-grummans-sabr-radar-goesagile?utm_source=chatgpt.com.
15. Су-35 / Су-35С FLANKER-E. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://militaryrussia.ru/blog/topic-533.h>.
16. Н036 Белка. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://vistat.org/objects/n036-belka-bed>.
17. Достижения российских радаров. Российская. “Белка” против лучших БРЛС современности. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://aftershock.news/?q=node/1508853&full>.
18. О создателях первых радиолокаторов и современных РЛС. 18.03.2020. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://roste.ru/media/news/radar-istoriya-velikogo-izobreteniya/#start>.
19. Чернова И.В., Тодосева А.С. Особенности реализации приемопередающего модуля АФАР // Электроника. Радиотехника. T-Comm Vol.12. #8 2018. С. 27–31. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-realizatsii-priemoperedayuschego-modulya-afar>.
20. Елесин В.В., Назарова Г.Н., Чуков Г.В. Маршрут исследований многоэлектронных фазовращателей и аттенуаторов для АФАР СВЧ-диапазона. Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ” // Известия вузов. Электроника № 4(90) – 2011. URL. С. 78–85. URL.
21. Karl Anderson. Advantages/Disadvantages of Digital Beamforming in Satellite Applications. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://blog.spectrumcontrol.com/blog/pros-cons-digital-beamforming-satellite-applications>
22. Добычина Е.М., Малахов Р.Ю. Цифровой приемопередающий модуль активной фазированной антенной решетки // Научный вестник МГТУ ГА, 2014. – Вип. 209. – С. 117–123. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovoy-priemo-peredayushiy-modul-aktivnoy-fazirovannoy-antennoy-reshetki>
23. Крістіан Вольф. Основи радіолокації. URL. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/an33.ru.html>.
24. Целіщев І.Ю., Медведєв Г.А., Федотов Б.М. Особливості та тенденції розвитку комплексів спеціалізованого бортового обладнання сучасних та перспективних літаків дальнього радіолокаційного виявлення і управління // 36. наук. праць ДНДІА. – К.: ДНДІА, 2013. – Вип. 9 (16). – С. 123–131.
25. Сорокін Д.М., Яровенко О.Г., Коліко В.Р. Роль та місце літаків дальнього радіолокаційного виявлення і управління в загальній системі виявлення, оповіщення, бойового управління силами (засобами) повітряної компоненти // 36. наук. праць ДНДІА. – К.: ДНДІА, 2023. – Вип. 19 (26). – С. 99–108.

Надійшла до редколегії 14.10.2025

Схвалена до друку 14.11.2025

Відомості про авторів:

Медведєв Геннадій Анатолійович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1045-2380>

Яровенко Олександр Григорович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1695-7037>

Карнаух Тетяна Іванівна

науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0216-2949>

Information about the authors:

Gennadii Medvediev

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1045-2380>

Oleksandr Yarovenko

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1695-7037>

Tetiana Karnaukh

Research Associate
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0216-2949>

**TECHNICAL FACE OF A PROSPECTIVE RADAR SIGHTING SYSTEM
FOR A TACTICAL AIRCRAFT**

G. Medvediev, O. Yarovenko, T. Karnaukh

The radar is the main source of information and the core of the onboard equipment of a tactical aircraft, which significantly determines its combat capabilities. The aircraft of the Armed Forces of Ukraine are equipped with outdated radars, the parameters of which do not meet modern requirements for range, accuracy, and multifunctionality. In the context of repelling armed aggression by Russian Federation, the issue of upgrading or replacing airborne radars takes on particular significance.

Based on the analysis of advanced global experience, proposals have been developed for the technical face and main characteristics of a promising radar sighting system for equipping tactical aircraft of the Air Force of Ukraine. The basis of this system should be a multi-mode radar with an active electronically scanned array (AESA).

The installation of new multifunctional radars with AESA on tactical aircraft will increase the detection range of air and ground targets, implement earth's surface mapping mode, simultaneously attack multiple targets, ensure the use of new foreign-made guided air-to-air weapons, and improve the aircraft's own safety.

Possible ways to implement these proposals are to involve foreign companies - industry leaders - in equipping Ukrainian tactical aircraft with new radars or completing the development of a domestic radar with the scientific and methodological assistance of foreign partners regarding AESA technology.

When integrating the new radar into the onboard equipment of a tactical aircraft, technical issues related to ensuring its functioning in a single complex with equipment for indication, navigation, weapons control, electronic warfare, and data transmission must be resolved.

Keywords: tactical aircraft, radar, sighting system, electronically scanned array, onboard equipment.