

УДК.621.396.61

М.Д. Рисаков, І.В. Тітов, О.П. Кулик, В.Г. Карєв, О.В. Симоненко

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## АНАЛІЗ СВІТОВИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ПОСАДКОВИХ ЛОКАТОРІВ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПОСАДКИ

У роботі аналізується сучасний стан та світові тенденції розвитку посадкових і оглядових радіолокаторів систем посадки. Наводяться відомості щодо особливостей побудови сучасних посадкових локаторів, їх окремих характеристик та конструкторських рішень. Висвітлюються перспективні (на думку авторів) напрямки розвитку сучасних посадкових радіолокаторів.

**Ключові слова:** посадковий радіолокатор, оглядовий радіолокатор, радіолокаційна система посадки, управління повітряним рухом.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Склад радіолокаційних засобів на військових аеродромах закордонних країн має ряд відмінностей від прийнятого в Україні. Для управління польотами в аеродромній зоні на стаціонарних аеродромах в арміях іноземних держав, як правило, використовується кілька окремих засобів (оглядовий радіолокатор, посадковий радіолокатор (ПРЛ), вторинний локатор і обладнання робочих місць операторів). На військових аеродромах України функції оглядового і вторинного локаторів виконує диспетчерський радіолокатор (ДРЛ), а функції диспетчерського і посадкового локаторів поєднує одна комплексна система – радіолокаційна система посадки, до складу якої входять додаткові засоби пеленгації, зв'язку, об'єктивного контролю та інше. Однак, для застосування авіації з польових аеродромів практично всіма державами використовуються оглядово-посадкові радіолокаційні станції (РЛС), які виконують функції диспетчерського і посадкового локаторів. ДРЛ систем (комплексів) посадки щодо забезпечення посадки літаків на ЗПС виконують допоміжне завдання – забезпечують виведення літака в зону посадки. Тому, в рамках даної публікації обмежимося головним чином аналізом тенденцій розвитку ПРЛ за кордоном.

**Аналіз публікацій.** У статтях [1] та [2] дана характеристика стану та напрямків розвитку радіолокаційних систем управління повітряним рухом (УПР) за кордоном, що мали місто відповідно у 80-х та 90-х роках. Останнім часом в світі відбувся якісний стрибок в розвитку засобів забезпечення управління і обміну інформацією. Це торкнулося і радіолокаційних засобів УПР.

**Метою статті** є аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку посадкових і оглядових радіолокаторів систем посадки за кордоном.

### Виклад основного матеріалу

В інтересах управління тактичною авіацією та авіацією морської піхоти США у 70÷80 роках мину-

лого століття використовувались комплексні системи УПР і посадки TRACALS і MATCALS [1]. Головними засобами цих та інших систем УПР є оглядові РЛС. Необхідність більш стійкого управління літаками в районі аеродрому (у порівнянні з УПР на маршруті) обумовлює більшу увагу до тактичних характеристик засобів систем посадки. Пред'являються підвищені вимоги до точності виміру координат локаторами, у першу чергу, по визначенню дальності, азимута і глісади зниження, а також висоти польоту літального апарату (ЛІА). Основними особливостями побудови диспетчерських РЛС у порівнянні з оглядовими РЛС є менша дальність виявлення літаків, більш висока точність визначення параметрів польоту, а також можливість їх використання як у мобільному, так і в стаціонарному варіантах.

Відповідно до класифікації НАТО для забезпечення польотів в аеродромній зоні у військовій авіації США використовувались аеродромні РЛС 4-х класів [1]:

- стаціонарні РЛС – ASR-9, AN/GPN-22;
- РЛС у складі АСУ польотами авіацією AN/TPN-19,20;
- мобільні РЛС AN/MPN-13,14,14k;
- високо-мобільні оглядово-посадкові РЛС AN/FPS-40 та AN/TPN-18.

До початку 90-х років головним чином всі стаціонарні РЛС забезпечення УПР об'єднувались у комплекси АСУ, тому далі зберігається їх класифікація щодо мобільності: стаціонарні, мобільні та високо-мобільні РЛС.

Аналіз характеристик [1], [2] закордонних РЛС показує, що всі оглядово-посадкові РЛС мають порівняно невелику дальність виявлення оглядової частини – до 110 км, використовують зазвичай хвилі довжиною 10 см, 3 см та іноді 1,8 см (ASTRE (Франція) та ASDE-J (Нідерланди)) в оглядовій частині і тільки 3 см – довжину хвилі в посадковій частині. Період огляду повітряного простору становить від 1 до 10 секунд. Станції мають імпульсну потужність оглядового локатора 50-60 кВт і посадкового

локатора 80-150 кВт. Показники точності, як правило, визначаються вимогами ІСАО.

Найбільший інтерес серед посадкових РЛС минулого століття, що використовуються і у теперішній час, представляють РЛС AN/TPN-22 фірми ІТТ Gilfillan та AN/TPN-25 і AN/GPN-22 фірми Raytheon (США).

AN/TPN-22 [3] є посадковою РЛС із частотно-фазовим скануванням простору вузьким променем. Антенна система являє собою плоску фазовану антенну решітку (ФАР), що складається з 94 електронних елементів, які живляться через керовані фазообертачі на діодах. Для поліпшення характеристик РЛС у погану погоду використовується кругова поляризація. Обробка даних виконується програмним способом багатоцільовим комп'ютером AN/UUK-20 і спеціалізованим цифровим процесором. Темп надходження даних про цілі в режимі спостереження може бути обраний у діапазоні від 5 до 10 Гц. РЛС зберігає працездатність при опадах до 25 мм/год.

променем у заданому секторі. Точність визначення кутових координат 5' (азимут), 3,5' (кут місця) і 3 м (дальність). Такі характеристики забезпечують автоматичну посадку (через систему автоматичного управління) військово-морських літаків усіх типів при нульовій горизонтальній і вертикальній видимості (третя категорія метеомінімуму).

Посадкові РЛС AN/TPN-25 і AN/GPN-22 використовуються в системах посадки літаків по командах із землі для одержання точних координат літака на кінцевій ділянці польоту перед заходом на посадку.

Посадкові РЛС AN/GPN-22 є стаціонарним варіантом РЛС AN/TPN-25. Особливістю побудови станцій є антенна система (рис. 1), де максимальний сектор сканування в куто-місцевій площині зменшений з 15° (у ПРЛ AN/FPN-62) до 8°, що приблизно в два рази зменшує число необхідних фазообертачів і робить антену дешевшою.



Рис. 1. Зовнішній вигляд ПРЛ AN/GPN-22 та робочого місця оператора

Ці РЛС працюють одночасно у двох режимах: безперервного пошуку та супроводження цілей. Режим безперервного пошуку виконується в секторі 20° ( $\pm 10^\circ$ ) по азимуту, 15° (від -1° до 14°) по куту місця і 37 км по дальності. Одночасно з пошуком, РЛС здатна супроводжувати 6 цілей, обновляючи інформацію про траєкторії кожної цілі з темпом 22 Гц. Точність супроводження по азимуту 8,6' і по

куту місця 4,3'. Використання вузького променя разом із ширококутовим сигналом робить систему нечутливою до завад від дощу, тому що елемент розподілення простору дуже малий. Завдяки цьому в дощі з інтенсивністю 50 мм/год дальність виявлення цілі з ефективною по верхню розсіювання (ЕПР) 1 м<sup>2</sup> не менш 27 км.

Можливість суміщення режимів пошуку і супроводження з високим темпом оновлення інформації забезпечується завдяки спеціальній конструкції антени. Антенна система складається з двох частин: плоскої фазованої антенної решітки (ФАР) та дзеркала віддзеркалення. ФАР складається з 824 елементів, кожний з яких живиться феритовим фазообертачем. Фазообертачі керуються незалежно. За допомогою створення відповідних фазових зрушень фазообертачі дозволяють сканувати наявність дзеркала віддзеркалення дозволяє звузити діаграму спрямованості ФАР в площині сканування.

До стаціонарних посадкових радіолокаторів відноситься локатор PAR-80 [4] (фірма ІТТ Gilfillan, США) (рис. 2).



Рис. 2. Зовнішній вигляд ПРЛ PAR-80

Для отримання вузьких діаграм спрямованості, що сканують тут використовується плоска ФАР з декількох тисяч елементів. Використання промислових комп'ютерів для управління ФАР та для обробки сигналів віддзеркалення дозволили досягнути високої точності вимірювання кутових координат ( $\approx 1'$  по курсу,  $\approx 3'$  по куту місця).

До сучасних оглядових і посадкових РЛС відносяться локатори корпорації ІТТ Exiles, яка з кінця 1990-х років почала випускати оглядово-посадкові комплекси GCA/PAR-2000 (Ground Controlled Approach/Precision Approach Radars – Наземна система управління посадкою/прецизійний посадковий локатор) [5] (рис. 3).

До сучасних технологій побудови комплексу відноситься застосування двох активних антенних решіток (ААР): для азимуту (курсу) і для кута місця. Комплекс здатний працювати в складних метеорологічних умовах і здійснювати круговий огляд простору або забезпечувати одночасне вирішення двох

завдань: супроводження літаків, що прилітають і відлітають, а також точне супроводження літаків на етапі посадки.



Рис. 3. Зовнішній вигляд оглядово-посадкового комплексу GCA/PAR-2000 та робочих міст операторів

Супроводження літаків в режимі огляду може здійснюватися по дальності до 55 км і по висоті до 2,4 км. У режимі супроводу літаків на етапі посадки дальність дії радару складає 37 км при 30-градусному огляді по азимуту і восьмиградусному огляді по куту місця.

Комплекс випускається в стаціонарному (GCA/PAR-2000) і мобільному (AN/MPN-25) варіантах. Використання сучасних технологій при побудові локаторів та оптимальній цифровій обробці сигналів дозволили добитися високої точності вимірювання координат літаків та їх супроводження в складних погодних умовах.

До сучасних стаціонарних посадкових радіолокаторів із дзеркальними антенами необхідно віднести ПРЛ корпорації Тесла (Чехія) РП-5Г (рис. 4).

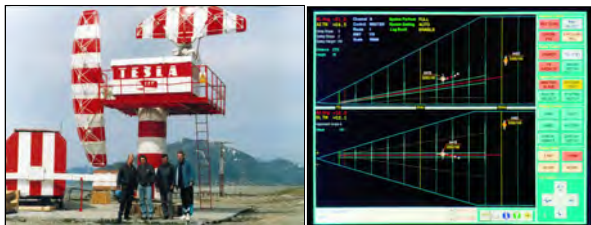


Рис. 4. Зовнішній вигляд ПРЛ РП-5Г корпорації Тесла та монітору локатора

До особливостей цього ПРЛ відносно розглянутих сучасних ПРЛ можна віднести те, що в ньому досягається висока точність вимірювання координат літака в СМУ шляхом оптимальної обробки сигналів віддзеркалень програмним способом спеціалізованим комп'ютером при використанні дзеркальних антен курсу та глісади. При цьому РП-5Г забезпечує автоматичне супроводження мітки літака [6]. Лінійні відхилення по курсу і глісаді відображаються у формі цифрового формуляру супроводження, який синхронно з міткою літака рухається по екрану монітора. У формулярі супроводження до виходу літака на лінію глісади (на ЗЛП) відображається поточна висота польоту, величина бічного відхилення від лінії курсу і фактичне віддалення літака від РТП в

метрах. Після виходу на ЗЛП у формулярі супроводу відображаються лінійні відхилення літака від ЗЛП по курсу і глісаді в метрах.

Диспетчер зчитує числове значення цих відхилень та передає екіпажу інформацію про бік і величину відхилення. Якщо відхилення мітки літака перевищують граничнодопустимі норми (знаходиться поза зоною допустимих відхилень), здійснюється застережлива сигналізація для диспетчера – мерехтіння формуляру протягом 13 секунд. При перетині мітки літака з РТП або при нульовій висоті відбувається автоматичне скидання супроводження мітки літака.

Такий принцип обробки і відображення координатної інформації ПРЛ представляється найбільш приємним для забезпечення посадки літаків у складних погодних умовах.

В останні десятиліття отримали активний розвиток мобільні оглядово-посадкові РЛС на основі впровадження сучасних твердотільних технологій і цифрових методів обробки і відображення інформації радіолокації.

До таких мобільних оглядово-посадкових радіолокаторів (ОПРЛ) можна віднести локатор AN/MPN-14k (рис. 5) [3].



Рис. 5. Зовнішній вигляд оглядово-посадкового радіолокатору AN/MPN-14k

До складу радіолокаційного комплексу AN/MPN-14k входять вторинний радіолокатор (ВРЛ), оглядовий радіолокатор (ОРЛ) та ПРЛ. За допомогою ВРЛ у диспетчера є можливість на віддаленнях до 370 км виконати індивідуальне розпізнавання потрібного літака і виведення його в район аеродрому посадки. Дальність дії ОРЛ і ПРЛ складає 110 км і 28 км відповідно. При цьому ОРЛ використовує дзеркальну антену, а у ВРЛ антенна, яка обертається сумісно з антеною ОРЛ, являє собою ФАР. У ПРЛ використовуються антени курсу і глісади у вигляді ФАР з електронним скануванням променями у відповідних площинах.

Як видно на рис. 5, антени ПРЛ жорстко прикріплені до зовнішніх стінок апаратного контейнера і тому не можуть бути оперативним розгорнені на 180° для забезпечення посадки літаків з другого напрямку.

Реалізація у комплексі сучасної цифрової обробки сигналів віддзеркалення придала йому спроможність забезпечувати гарантований радіолокаційний контроль повітряної обстановки та гарантоване супроводження літака в аеродромній зоні і в зоні посадки у складних погодних умовах.

До сучасних високомобільних ОПРЛ з використанням дзеркальної антени в ОРЛ та ФАР у ПРЛ відноситься комплекс АН/ТРН-31 корпорації Exiles (рис. 6) [3].

Особливістю комплексу є використання у ПРЛ двохімпульсного (різної тривалості) сигналу зондування із рознесенням несучих частот на 30 МГц. Використання такого сигналу зондування дозволило стабілізувати значення ефективної площі віддзеркалення літака і підвищити коефіцієнт подавлення пасивних завод.



Рис. 6. Зовнішній вигляд ОПРЛ АН/ТРН-31

Використання в якості антен ПРЛ ФАР з електронним скануванням промінів також (як і у комплексі АН/МРН-14к), не дозволяє виконувати оперативну зміну напрямку сканування промінів антен курсу і глісади. Комплекс використовується на польових аеродромах та призначений для радіолокаційного контролю повітряної обстановки в аеродромній зоні та забезпечення вивода літаків в зону посадки та управління посадкою літаків шляхом передачі команд управління на борт по засобам радіозв'язку.

До сучасних РСР з використанням ФАР у ДРЛ та ПРЛ відносяться системи РСР Росії: мобільна РСР-28МЕ і стаціонарна РСР-27СЕ [7]. До складу стаціонарної та мобільної систем входять однакові, так звані, модулі ДРЛ і ПРЛ, автоматичний радіопеленгатор та дизельна електростанція. Тому значення тактико-технічних характеристик ДРЛ та ПРЛ двох систем однакові. Для оснащення оперативних аеродромів до складу РСР додатково входить модуль управління МУ-28МЕ, якій являє собою обладнання робочих міст групи керівництва польотами (ГКРП). РСР у такому складі отримала маркування РСР-28МЕ.

У системі РСР-27СЕ радіолокаційна інформація (РЛІ) відображається на моніторах робочих міст

осіб ГКРП стаціонарного АКДП. Зовнішній вигляд системи РСР-28МЕ наведений на рис. 7.



Рис. 7. Зовнішній вигляд системи РСР-28МЕ

До особливостей цих РСР можна віднести:

- використання ФАР в ДРЛ із механічним обертанням антени та в ПРЛ із електронним скануванням діаграмою спрямованості у двох площинах;
- перевід ДРЛ у частотні діапазони ІКАО (23 см) для первинних каналів і 1030 МГц запит та 1090 МГц відповідь для вторинного каналу та інше.

Впровадження ФАР і цифрової обробки сигналів та відображення РЛІ дозволило суттєво підвищити точність (у сотні разів для кутів) та розширити зону огляду локаторів по відношенню до систем РСР-6М2 та РСР-10МН. Так наприклад, згідно рекламних матеріалів [7], у ПРЛ цих РСР досягається точність вимірювання дальності 15 м та кутових координат  $0,01^\circ$ .

До сучасних РСР державного виробництва відноситься система РСР-10МА (виробник НПП «Аеротехніка»). На рис. 8 наведено зовнішній вигляд РСР-10МА і АКДП (виробник також НПП «Аеротехніка»). У ДРЛ та ПРЛ цієї системи виконано перехід на твердотільну елементну базу та реалізована програмна обробка і відображення відеосигналів віддзеркалень.

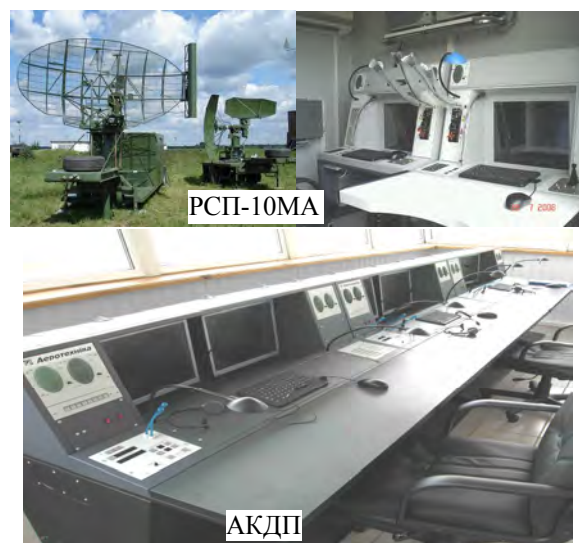


Рис. 8. Зовнішній вигляд РСР-10МА та робочих міст ГКРП на АКДП

При цьому у ДРЛ реалізовано когерентний принцип побудови первинного каналу, використання складного зондуючого сигналу і його оптимальна обробка, переведення на міжнародний діапазон частот (1250-1350 МГц). У вторинному каналі ДРЛ модернізованої системи передбачена можливість роботи у режимах “УВД” та “RBS”. У цілому ДРЛ відноситься до сучасних локаторів і відповідає сучасним нормам.

На жаль, виробник РСР-10МА розробляв систему для цивільної авіації і на ПРЛ не покладав завдання самостійного забезпечення посадки літака в складних погодних умовах. Тому в ПРЛ на даному етапі реалізований лише амплітудний канал приймача з логарифмічним детектором.

При цьому реалізована програмна обробка сигналів цього каналу і досягнута висока точність вимірювання координат.

Окрім цього в ПРЛ реалізоване принципово нове конструктивне рішення, яке полягає в тому, що блок передавача і приймача ПРЛ розміщений на причепі антен ПРЛ в поворотному пристрої кронштейна антен. Таке розміщення дозволило істотно скоротити втрати енергії сигналів в хвилеводному тракті.

В результаті цього вдалося збільшити дальність дії локатора в два рази для простих метеорологічних умов при імпульсній потужності передавача в 4 рази меншій, ніж в ПРЛ-10МН.

## Висновки

З проведеного аналізу тенденцій розвитку посадкових радіолокаторів випливають наступні висновки:

1. У даний час за кордоном використовуються ПРЛ з цифровою обробкою сигналів як у мобільних, так і в стаціонарних варіантах використання. При цьому спостерігається тенденція збільшення випуску ПРЛ із ФАР.

2. В останні десятиріччя у локаторах систем РСР активно впроваджується програмна обробка сигналів віддзеркалення та активні антенні решітки.

3. Відносно висока вартість РЛС із ФАР та ААР обумовлює одночасно тенденцію продовження випуску ОРЛ та ПРЛ із дзеркальними антенами з механічним скануванням.

## Список літератури

1. Казанцев Р.В. Радиолокационные средства управления воздушным движением и мобильные командно-диспетчерские пункты / Р.В. Казанцев // Военное зарубежное обозрение. – М.: Красная звезда, 1989. – № 6. – С. 35-40.
2. Перевозов Е.С. Состояние и тенденции совершенствования радиолокационных систем посадки / Е.С. Перевозов, В.А. Турченко // Зарубежная радиоэлектроника. – 2001. – № 9. – С. 64-69.
3. AN/TPN-22 Precision Approach Radar [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://fas.org/man/dod-101/sys/ac/equip/an-tpn-22.htm>.
4. AN/FPN-36. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/18002>.
5. GCA/PAR-2000 - ITT Exelis Inc., 2011. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://www.exelisinc.com/solutions/GCAPAR-2000/Pages/default.aspx#!prettyPhoto>.
6. Системы автоматической посадки самолетов для XXI века. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://2dip.ru/рефераты/885991/1997>.
7. Радиолокационные системы посадки РСР-27С и РСР-28М (стационарная и мобильная). Краткое описание выполненных работ. АО “НПО «ЛЭМЗ»”. - 2013.
8. Радиолокационная система посадки РСР-10МА. Руководство по технической эксплуатации. Аэротехника – МЛТ. Часть 3. ТОВЕ320.00.000.РТЭЗ. – 2009.

Надійшла до редколегії 22.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. П.Ю. Костенко, Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## АНАЛИЗ МИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ПОСАДОЧНЫХ ЛОКАТОРОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПОСАДКИ

Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, А.П. Кулик, В.Г. Карев, О.В. Симоненко

*В работе анализируется состояние и мировые тенденции развития посадочных и обзорных радиолокаторов систем посадки. Приводятся сведения относительно особенностей построения современных посадочных локаторов и отдельных их характеристик и конструкторских решений. Подчеркиваются перспективные, по мнению авторов направления развития современных посадочных радиолокаторов.*

**Ключевые слова:** посадочный радиолокатор, обзорной радиолокатор, радиолокационная система посадки, управление воздушным движением.

## ANALYSIS OF THE WORLD'S TRENDS LANDING LOCATOR RADAR SYSTEMS LANDING

N.D. Rysakov, I.V. Titov, A.P. Kulik, V.G. Karev, O.V. Simonenko

*The paper analyzes the state and development trends of the world landing radar and surveillance radar landing systems. Provides information on the features of construction of modern landing locators and their individual characteristics and design solutions. It emphasizes long-term, according to the authors of the direction of development of modern landing radar.*

**Keywords:** landing radar, surveillance radar, radar landing system, air traffic control.