DOI 10.36074/logos-05.09.2025.015

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ОГЛЯДОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ЗМІН БЕЗПЕКОВОГО СЕРЕДОВИЩА

Стороженко Катерина Ігорівна[1], Вовченко Михайло Васильович[2], Грамак Олексій Олексійович[3], Гнойовий Дмитро Юрійович[4], Ляшенко Олексій Сергійович[5]
Науковий керівник: Федоров Андрій Володимирович[6]

1. слухач факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, УКРАЇНА
ORCID ID: 0009-0006-3150-8677

2. слухач факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, УКРАЇНА
ORCID ID: 0009-0006-6525-2622

3. слухач факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, УКРАЇНА
ORCID ID: 0009-0005-5858-3063

4. слухач факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, УКРАЇНА
ORCID ID: 0009-0004-1528-8729

5. слухач факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, УКРАЇНА
ORCID ID: 0009-0001-3018-4352

6. доктор філософії, науковий співробітник науково-дослідної лабораторії
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, УКРАЇНА
ORCID ID: 0000-0002-3666-2466

Повномасштабне вторгнення росії в Україну кардинально змінило безпекове середовище Європи та продемонструвало значні прогалини у сфері протиповітряної та протиракетної оборони (ППО – ПРО). Агресор активно застосовує масовані та комбіновані атаки із використанням

All rights reserved | CC BY-SA 4.0

безпілотних літальних апаратів (БпЛА), крилатих ракет, високоточних боєприпасів та засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ). З'явилися нові засоби повітряного нападу та тактики їх застосування, що виявили обмеженість наявних систем ППО [1, 2].

У цих умовах особливої актуальності набуває створення нових поколінь оглядових радіолокаційних станцій (РЛС) як джерел інформації для систем ППО – ПРО, здатних ефективно протидіяти сучасним загрозам. Починаючи з 2022 року провідні країни світу різко активізували інвестиції у модернізацію та розробку таких систем, роблячи цей напрямок одним із ключових пріоритетів оборонної політики [3].

Метою роботи є визначення сучасних тенденцій розвитку оглядових РЛС, а також аналіз нових технічних рішень, концепцій побудови та експлуатації, які були сформовані під впливом сучасних загроз і змін у безпековому середовищі.

Проведений аналіз характеристик сучасних РЛС дозволяє визначити наступні основні тенденції їх розвитку:

1. Багатофункціональність і багатоцільове використання.

Сучасні оглядові РЛС є багатоцільовими, тобто виконують одночасно завдання ППО, ПРО, контрбатарейної боротьби та протидії БпЛА. Використання активних фазованих антенних решіток (АФАР) з напівпровідниковими модулями на основі нітриду галію (GaN) забезпечує формування декількох променів одночасно, що підвищує якість супроводження та ймовірність виявлення малорозмірних цілей. Зазначимо, що термін "багатофункціональність" тепер фактично означає повноцінну роботу у різних сценаріях використання, наприклад, ізраїльська РЛС ELM-2084 MS – MMR, яка вже стала еталоном багатофункціонального підходу.

2. Архітектура та програмна гнучкість.

Провідні виробники переходять до програмно-визначеної структури обробки радіолокаційної інформації у РЛС з швидкими софт-оновленнями, що знижує вартість життєвого циклу, спрощує модернізацію та введення нових режимів роботи без потреби у глибокому переобладнанні, наприклад, в РЛС GM400, GM200 (MM/C, MM/A) це прямо вказано.

Однією з провідних тенденцій розвитку сучасних РЛС є перехід від "відкритої архітектури" до модульної відкритої системної архітектури (MOSA). Суть підходу полягає у використанні уніфікованих приймально-передавальних та антенних модулів, з яких формуються РЛС різних типів у залежності від конфігурації. Наприклад, одна антена може забезпечувати роботу малої РЛС ближньої дії, чотири антени – формувати секторний або круговий огляд, збільшення кількості модулів у площині – суттєво підвищувати

All rights reserved | CC BY-SA 4.0

дальність виявлення. Такий підхід дає змогу створювати “лінійку” РЛС різного призначення на єдиній технологічній основі, знижувати вартість життєвого циклу, спрощувати модернізацію та обслуговування, наприклад, лінійка РЛС турецької компанії Aselsan ALP 110-G (300-G, 500-G), Spexer 2000 (2000 MKIII) від компанії Hensoldt, ELM-2090 Ultra (C1, C6, C22) ізраїльської компанії Elta.

3. Зона огляду та можливості з супроводження цілей.

В сучасних РЛС максимальний кут місця зони огляду досягає 70° – 80°, що дозволяє одночасно відстежувати балістичні цілі та низьковисотні БпЛА. При чому достатньо часто виробники декларують можливість супроводження відокремлених цілей до кута 90° (TPY-4, Ground Fire 300, KRONOS Grand Mobile). Це значно розширює можливості використання РЛС у інтересах комплексів ПРО середньої дальності.

4. Сенсорна інтеграція.

Широко використовується принцип об'єднання даних від різних сенсорів у межах однієї РЛС (ELM-2084 MS-MMR, RPS-42, -82), зокрема, об’єднання інформації, отриманої за каналом радіолокаційного виявлення з інформацією:

- системи впізнавання "свій-чужий" (IFF);
- системи ADS-B;
- системами оптико-електронної (EO/IR) та радіоелектронної розвідки (SIGINT).

Такий підхід підвищує достовірність класифікації цілей та завадостійкість.

5. Новий напрямок розвитку – когнітивні РЛС (cognitive radar), які залежно від загроз адаптивно змінюють режими роботи. Впроваджуються методи машинного навчання та штучного інтелекту (ШІ) для класифікації малорозмірних цілей, придушення перешкод, оптимального розподілу ресурсів. До елементів когнітивних систем, які активно втілюються у РЛС, можна віднести адаптивні системи прешкодозахисту [1]. До РЛС з когнітивними елементами можна віднести, зокрема, Ground Master 400 Alpha та TRML-4D.

6. Мобільність і живучість.

Переважна більшість сучасних РЛС виконуються у контейнерному чи єдино-платформному варіанті (GM 200, Ground Master 400 Alpha, ALP 110-G), це дозволяє зменшити час згортання – розгортання до 10 – 15 хвилин. В РЛС з невеликими антенними системами впроваджується можливість роботи у русі, наприклад, РЛС Xenta-M5, Spexer 2000MKIII. Забезпечується як можливість автономної роботи з дистанційним керуванням, так і робота у складі С2 мереж.

7. Концепція "малообслуговуваності": зменшення чисельності персоналу та вимог до його кваліфікації.

Сучасні оглядові РЛС характеризуються високим рівнем надмірності та надійності, це дозволяє забезпечити безперебійну роботу навіть у разі виходу

All rights reserved | CC BY-SA 4.0

з ладу окремих компонентів (ALP 110-G, -300-G, -500-G, ELM-2080 GreePine). Важливу роль відіграє розвинена система вбудованого контролю та самодіагностики, яка забезпечує своєчасне виявлення та локалізацію відмов, автоматичне інформування обслуговуючого персоналу про несправності, а також реалізацію алгоритмів компенсації, що дозволяє зберегти працездатність РЛС до проведення ремонту. Завдяки реалізації цих підходів сучасні РЛС мають середній час напрацювання на відмову (MTBF) на рівні 2500 – 3000 годин та потребують мінімальної кількості обслуговуючого персоналу (2 – 3 особи).

8. Вартість життєвого циклу.

Сучасним ключовим трендом у розвитку РЛС є зниження вартості життєвого циклу. Це завдання реалізується як у процесі створення нових розробок, так і під час модернізації існуючих систем. Зменшення експлуатаційних витрат, включаючи технічне обслуговування, ремонт та оновлення програмного забезпечення, є одним із пріоритетів сучасних програм оновлення та розвитку РЛС, що дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів та знизити загальні витрати на експлуатацію систем ППО – ПРО.

9. Електромагнітна малопомітність.

Сучасний розвиток оглядових РЛС характеризується тенденцією до зниження їх помітності у електромагнітному середовищі. Це досягається шляхом зниження імпульсної та середньої потужності передавачів, а також активним використанням складних сигналів [4 – 8]. Застосування таких підходів дозволяє реалізовувати режими з низькою ймовірністю перехоплення та оперативного використання сигналів (Low Probability of Intercept/Low Probability of Exploitation — LPI/LPE). Низька ймовірність оперативного використання сигналів передбачає, що навіть у разі виявлення сигналу він має такі характеристики (широка смуга, швидка перебудова частоти, випадкові параметри імпульсів), що противник не може ефективно його використати для наведення зброї чи створення перешкод. Зазначені технічні рішення значно підвищують живучість РЛС у середовищі РЕБ.

Таким чином, радіолокаційні системи зазнають суттєвої трансформації, що зумовлено як зростанням складності загроз, так і потребою в підвищенні адаптивності, надійності та багатофункціональності. Спостерігається поступовий перехід від класичних оглядових РЛС, орієнтованих переважно на виконання вузького кола завдань, до багатофункціональних та програмно визначених рішень, інтегрованих у мережеві сенсорні комплекси, здатні до самонавчання, динамічної перебудови робочих параметрів та оптимізації функціонування у режимі реального часу. У (табл. 1) наведено порівняльну

All rights reserved | CC BY-SA 4.0

характеристику основних етапів розвитку РЛС – від традиційних рішень до прогнозованих технологій.

Таблиця 1

Тенденції розвитку радіолокаційних систем

Напрямок	Було	Стало	Прогноз
Функціональність	Класичні оглядові РЛС	Багатоцільові (multi-mission): ППО, ПРО, контрбатарейна бороьтба, виявлення БпЛА	Когнітивні РЛС (cognitive radar), адаптація до середовища та загроз у реальному часі
Архітектура	Аналогові/гібридні рішення, складна модернізація	Відкрита архітектура, програмно визначені РЛС , GaN-АФАР (AESA)	Модульна відкрита архітектура (MOSA), оновлення ПЗ “на льоту”, кіберзахист
Діапазон та сигнали	Високі пікові потужності, обмежене перебудування частоти	Зниження потужності, широкосмугові складні сигнали, низька помітність (LPI/LPE)	Радарно-комунікаційні системи (DFRC) з гнучким вибором видів сигналів
Зона огляду	Кут місця 30–40°	Кут місця до 70–80°, супроводження балістичних і малорозмірних цілей	Повне покриття (all-altitude coverage) з елементами космічного моніторингу
Інтеграція сенсорів	Переважно автономні РЛС	Об’єднання інформації декількох систем (Sensor fusion): IFF, ADS-B, EO/IR, SIGINT	Єдині сенсорні мережі (multi-sensor networks) з автоматичним обміном даними
Алгоритми обробки	Класичні методи селекції цілей	Використання ШІ (AI) і машинного навчання (ML) для протидії перешкодам, класифікації цілей, виявлення та супроводження складних цілей	Повністю когнітивна обробка сигналів з адаптивним “навчанням” у ході бойової роботи
Мобільність та експлуатація	Стаціонарні та пересувні комплекси, велика кількість транспортних одиниць та персоналу	Контейнерні, єдино-платформні, дистанційне керування. Вбудовані системи функціонального контролю	Без екіпажні мобільні платформи, повна автоматизація, мало обслуговувані РЛС, інтеграція у “мережу сенсорів”

[авторська розробка]

All rights reserved | CC BY-SA 4.0

Тенденції розвитку оглядових радіолокаційних станцій та інтегрованих систем ППО–ПРО свідчать про перехід до високотехнологічних, мережево-орієнтованих та адаптивних рішень, здатних ефективно протидіяти новим загрозам повітряного нападу. У перспективі саме поєднання модульності, малообслуговуваності та ШІ стане ключовим чинником забезпечення стійкості та надійності систем ППО.

Висновки. Сучасне безпекове середовище характеризується зростанням ролі малорозмірних БпЛА, високоточної зброї та засобів РЕБ, що зумовлює необхідність суттєвого оновлення систем ППО–ПРО та оглядових РЛС.

Ключовими тенденціями розвитку сучасних РЛС є впровадження твердотільних АФАР на базі GaN, перехід до модульної відкритої системної архітектури (MOSA), застосування низькопомітних режимів випромінювання (LPI/LPE) та зростання вимог до живучості й малообслуговуваності.

Важливим напрямом є інтеграція різнорідних РЛС у єдині багатофункціональні мережі ППО–ПРО, що забезпечує підвищення надійності, гнучкості застосування та стійкості до РЕБ.

Провідні країни світу з 2022 року суттєво наростили темпи розробки й модернізації систем ППО–ПРО, приділяючи особливу увагу зниженню вартості життєвого циклу та підвищенню ефективності експлуатації.

Подальший розвиток систем ППО пов'язаний із широким використанням когнітивних технологій, автоматизації управління та ШІ, що дозволить забезпечити ефективне протистояння новим загрозам повітряного нападу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

[1] Трофимов І.М., Худов Г.В., Білецький С.С., Гризо А.А. & Гладіщук О.В. (2024) Особливості бойового застосування радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України в ході російсько-української війни. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, (2(55)), 76–85. https://doi.org/10.30748/nitps.2024.55.08.

[2] Гризо, А. А., Костиря, О. О., Лісогорський, Б. А., & Ткаченко, В. І. (2023). Аналіз характеристик та оцінка ефективності застосування потенційних засобів вогневого ураження елементів системи протиповітряної оборони у російсько-українській війні. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, (1 (50), 70-81. https://doi.org/10.30748/nitps.2023.50.08.

[3] Гризо, А., Костиря, О., & Трофимов, І. (2025). Російсько-українська війна як каталізатор змін у європейській системі ППО-ПРО: від американської підтримки до стратегічної автономії. *Міжнародний науковий журнал «Military Science»*, 3(2), 56-77. https://doi.org/10.62524/msj.2025.3.2.5/

[4] Kostyria, O. O., Hryzo A. A., Khudov, H. V., Dodukh, O. M., & Lisohorskyi B. A. (2024). Two-fragment non-linear-frequency modulated signals with roots of quadratic and linear laws frequency changes. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (1), 17. https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-1-2/.

All rights reserved | CC BY-SA 4.0

[5] Hryzo A. A., Kostyria, O. O., Fedorov, A. V., Lukianchykov, A. A., & Biernik, Y. V. (2025). Assessment of the quality of detection of a radar signal with nonlinear frequency modulation in the presence of a non-stationary interfering background. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (1), 18–29. https://doi.org/10.15588/1607-3274-2025-1-2.

[6] Kostyria, O. O., Hryzo A. A., Khudov, H. V., Dodukh, O. M., & Solomonenko, Y. S. (2024). Mathematical model of current time of signal from serial combination linear-frequency and quadratically modulated fragment . *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (2), 24. https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-2-3/.

[7] Kostyria O. O., Hryzo A. A., Dodukh O. M., Lisohorskyi B. A., & Lukianchykov A. A. (2023). Method of minimization sidelobes level autocorrelation functions of signals with non-linear frequency modulation. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (4), 39. https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023-4-4

[8] Kostyria, O. O., Hryzo, A. A., Khizhnyak, I. A., Fedorov, A. V., & Lukianchykov, A. A. (2024). Implementation of Method of Minimizing the Side Lobe Level of Autocorrelation Functions of Signals With Nonlinear Frequency Modulation. *Visnyk NTUU KPI Seriia-Radiotekhnika Radioaparatobuduvannia*, (95), 16-22. https://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1976.

All rights reserved | CC BY-SA 4.0