

УДК 621.396

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.3\(31\).34-43](https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.3(31).34-43)

Д. М. Беляєв, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0001-6707-554X>

А. Л. Зірка, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0001-5304-2894>

Р. П. Семенюк
<https://orcid.org/0000-0001-8404-1894>
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

В. В. Тютюнник, кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>

Г. Г. Камалтинов, кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0002-1449-5230>
(Науковий центр Харківського національного університету Повітряних Сил Збройних Сил України імені Івана Кожедуба, м. Харків)

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ ТА ПРОГНОЗІВ РОЗВИТКУ ВІЙСЬКОВОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ ВИЯВЛЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ НА СЕРЕДНЬОСТРОКОВУ ПЕРСПЕКТИВУ

У статті наведено результати аналізу сучасного стану радіолокаційної техніки, потреб системи контролю повітряного простору та основних тенденцій розвитку військової радіолокації. За результатами аналізу визначені основні тенденції розвитку військової радіолокації на теперішній час, а саме: повне використання частотного ресурсу з одночасним використанням в радіолокаційних станціях декількох частотних діапазонів, широке використання фазованих антенних решіток, перехід на повністю твердотільні передавачі із широкосмуговими сигналами, можливість використання в системах подвійного призначення, покращення експлуатаційних характеристик. На підставі отриманих результатів сформовані пріоритетні напрями удосконалення парку озброєння та військової техніки радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України на середньострокову перспективу.

Ключові слова: військова радіолокація, радіолокаційна станція, фазована антенна решітка, цифрова антенна решітка, новітні технології, твердотільні прилади надвисокої частоти.

ВСТУП

Теорія і практика радіолокації протягом багатьох десятиріч пройшли декілька поколінь модернізації і накопичили достатньо велику кількість вдалих практичних рішень та ефективних алгоритмів обробки. До того ж, динамічний розвиток теорії і практики радіолокації, сучасний рівень елементної бази і технологій відкрили нові горизонти щодо удосконалення радіолокаційних систем. Знання світових тенденцій розвитку різних систем озброєння є необхідною умовою для правильного вибору шляхів та напрямів розвитку аналогічних систем для Збройних Сил України [1]. Тому, на основі аналізу сучасного стану радіолокаційної техніки, потреб системи контролю повітряного простору у майбутньому і перспективних тенденцій радіотехніки визначено основні напрями розвитку систем військової радіолокації на середньострокову перспективу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Розвиток засобів радіолокаційної розвідки [2 – 6], які входять до системи протиповітряної оборони (ППО), здійснюється за трьома основними напрямками:

удосконалення засобів активної (традиційної) радіолокації (первинних і вторинних радіолокаційних станцій (РЛС));

розвиток засобів пасивної радіолокації (триангуляційних, різницево-далекомірних та комбінованих станцій);

розробка і впровадження у практику засобів із зовнішнім, програмним і цілеспрямованим підсвічуванням.

Кожний з напрямів тривалий час розвивався самостійно і має свою історію. Розвиток активної радіолокації триває понад 80 років та має назву “традиційної”. Зародження пасивної радіолокації припадає на 1960-ті роки, а дослідження радіолокаційних засобів із зовнішнім підсвічуванням розпочалися лише у 1980-х роках.

В рамках цієї роботи пропонується розглянути більш детально перший напрям розвитку.

Метою статті є визначення прогнозів і напрямів розвитку військової радіолокації виявлення повітряних цілей на середньострокову перспективу.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Загальною тенденцією розвитку всіх радіолокаційних засобів контролю повітряного простору є поєднання переваг різних типів локаторів і комбіноване використання різних засобів у системі. Водночас, для кожного напрямку існують свої особливості щодо тенденції розвитку.

Серед радіолокаційних засобів контролю повітряного простору найбільш поширеними є первинні засоби активної радіолокації. Ці засоби широко використовуються для ведення наземної (надводної) і повітряної радіолокаційної розвідки, контролю космічного простору, попередження про ракетні напади та видачі цілевказання активним засобам ППО.

За результатами аналізу закордонних та вітчизняних засобів військової радіолокації виявлення повітряних цілей визначені найбільш характерні на теперішній час наступні тенденції розвитку:

повне використання частотного ресурсу з одночасним використанням в РЛС декількох частотних діапазонів та

перехід в міжнародні діапазони частот, що визначені для військового використання;

широке використання фазованих антенних решіток (ФАР) та цифрових антенних решіток (ЦАР);

перехід на повністю твердотільні РЛС із широкосмуговими сигналами і зниженим рівнем випромінювання;

широке використання спеціальних швидкодіючих процесорів при обробці сигналів (сигнальних процесорів) та інформаційних технологій при обробці та передачі інформації;

розширення функціональних можливостей щодо вимірювання повних просторових координат цілей, розпізнавання цілей, видачі метеоінформації, вторинної та третинної (мультирадарної) обробки радіолокаційної інформації;

можливість використання в системах подвійного призначення;

використання “готових до застосування модулів комерційного призначення” (Commercial Off-The-Shelf, COTS-технологія);

покращення експлуатаційних характеристик;

“малообслуговуваність”, економічність;

покращення перешкодозахищеності РЛС.

Щодо використання частотного ресурсу спостерігаються такі тенденції:

продовження розвитку РЛС метрового діапазону довжин хвиль (П-18 “Малахіт”; П-18МА – Україна; 55Ж6УМ “Ниобий”, 1Л119 “Небо-СВУ” – Росія; JY-27, JY-27A, YLC-8, YLC-4 – Китай; П-18Р, “Восток” – Білорусь). Використання метрового діапазону для військової радіолокації має певні переваги. По-перше, РЛС метрового діапазону мають більшу живучість при застосуванні протирадіолокаційних ракет (ПРР). Це обумовлено тим, що РЛС метрового діапазону підсвічують навколо себе велику ділянку, що знижує імовірність ураження РЛС ПРР. По-друге, ускладнено створення потужних активних загороджувальних перешкод з борта літаків внаслідок малої спрямованості бортових антен в метровому діапазоні. По-третє, РЛС метрового діапазону мають кращі можливості щодо виявлення літаків, що створені із застосуванням технології “Stealth” [5, 7–13];

розширення межі використання метрового діапазону до (240–390) МГц (JY-27A, рис. 1);

активне використання L діапазону хвиль (23 см) для первинних засобів військової радіолокації (“MARS-L”, 59Н6-Е “Противник-ГЕ”). Діапазон L привабливий також тим, що дозволяє на одній антені інтегрувати активну первинну і вторинну РЛС, що працює в близькому діапазоні вторинної локації в режимі “RBS”;

створення дводіапазонних РЛС з об’єднаною антенною системою (РЛС JY-26 – сантиметровий – дециметровий, 55Ж6УМ “Ниобий” – метровий – дециметровий, рис. 2). За рахунок використання другого діапазону в РЛС метрового діапазону створюється висотомірний канал та підвищується перешкодозахищеність РЛС.

Широке використання ФАР обумовило революцію в радіолокації [14, 15], що вплинуло на зовнішній вигляд РЛС, принципи їх бойового застосування, технічного обслуговування та ремонту.



Рис. 1. РЛС JY-27A

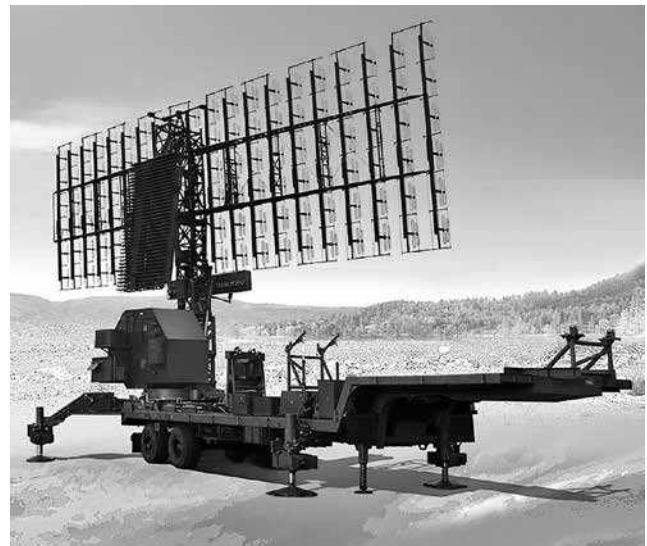


Рис. 2. РЛС 55Ж6УМ “Ниобий”

Стримуючим фактором для широкого використання ФАР в оглядових РЛС у дециметровому (L) та сантиметровому (S) діапазонах тривалий час була їх висока вартість. Використання в останні часи Ш-хвилеводів, як випромінюючих елементів, значно спростило технологію виготовлення ФАР і знизило їх вартість. На сьогодні в оглядових РЛС L та S діапазонів, в яких немає потреби у гнучкому управлінні променем, використовуються саме такі ФАР (РЛС 79К6, 80К6КС1, 64Л6 “Гамма-С1”, RAT-31SL та ін.).

Вважається, що створення найбільш перспективних антенних систем РЛС буде відбуватись на основі використання активних ФАР та ЦАР.

Головною особливістю активних ФАР є те, що діапазон кутів, на які промінь може бути відхилений, суттєво збільшується, і, таким чином, може бути знято багато обмежень щодо геометрії антен, які мають звичайні ФАР. На теперішній час значна увага приділяється подоланню двох чинників, що обмежують широке використання активних ФАР: розсіювання теплової потужності (необхідність примусового охолодження); велика вартість.

Прогнозується здійснити суттєве послаблення цих чинників у найближчі 5 – 10 років та стрімке збільшення застосування активних ФАР, які перевершують звичайні антени РЛС майже у всіх відношеннях.

В останні роки спостерігається тенденція використання в антенних системах замість традиційних ФАР перспективних антен у вигляді ЦАР. Різниця між активною ФАР і ЦАР полягає у методах обробки сигналів. У ЦАР у кожному каналі встановлено цифровий приймально-передавальний модуль, в якому аналогова система управління амплітудою і фазою сигналу замінена системою цифрового синтезу і аналізу сигналів з використанням цифроаналогових (ЦАП) і аналого-цифрових (АЦП) перетворювачів. Вважається більш доцільним використовувати ЦАР з програмно-конфігурованою архітектурою, що дозволяє створити високоінформативні приймальні системи, забезпечує максимальне використання переваг цифрового оброблення сигналів та мінімізацію апаратури. При цьому досягається оперативна функціонально-ресурсна адаптація архітектури радіоелектронного устаткування і суттєво зростає ефективність всієї радіотехнічної системи.

Спостерігається тенденція реалізації кругового огляду з використанням антен без механічного обертання у вигляді кільцевих ФАР (РЛС “Роса-РБ”). Це відкриває широкі можливості щодо гнучкої адаптації режимів огляду простору РЛС за поточною обстановкою. Відсутність механічного обертання антени підвищує експлуатаційну надійність РЛС, спрощує обслуговування та відкриває перспективи щодо розширення функціональності РЛС.



Рис. 3. РЛС “Giraffe AMB”

Відомими прикладами вдалого впровадження ЦАР є шведський радіолокатор “Giraffe AMB” (рис. 3), російська РЛС “Воронеж-М”, датська РЛС “SMART-L”, що використовується на фрегатах F220 Hamburg і F221 Hessen.

У РЛС метрового діапазону спостерігається використання нетрадиційних випромінювачів як елементів ФАР, зокрема, антен Татарінова замість хвильових каналів (РЛС “AMBER-1800”, рис. 4).

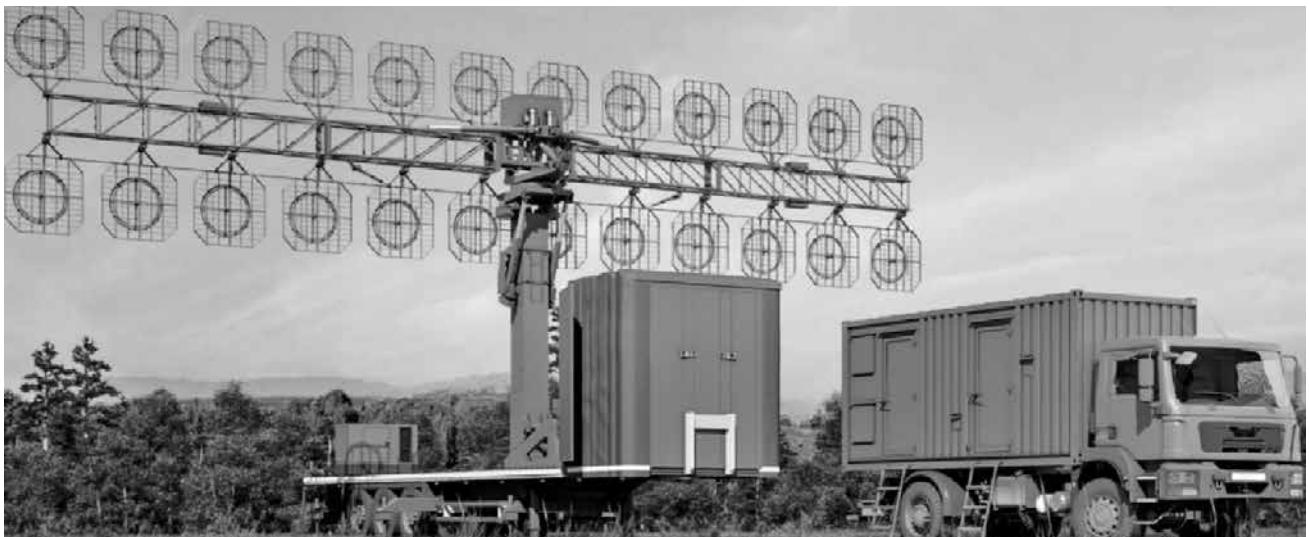


Рис. 4. РЛС “AMBER-1800” з антенами Татарінова як елементами ФАР

Тенденція переходу на повністю твердотільні РЛС із ширококутовими сигналами і зниженим рівнем випромінювання спостерігається не тільки в метровому діапазоні довжин хвиль, а також у дециметровому (L) діапазоні (РЛС “MARS-L”, 59Н6-Е “Противник-ГЕ”) та сантиметровому (S) діапазоні (РЛС 90К6, 80К6КС1, JY-11В, 48Я6 “Подлет-К1” та ін.).

Перехід на повністю твердотільні РЛС зі складними (з внутрішньоімпульсною модуляцією) і складеними (що складаються з кількох імпульсів) зондувальними сигналами у поєднанні з використанням ФАР обумовлює створення принципово нової за структурою та складом апаратури РЛС. Завдяки складним зондувальним сигналам можливо досягти необхідного енергетичного потенціалу за низьких значень імпульсної потужності, що обумовлює можливість використання твердотільних передавальних модулів, змінює принципи побудови передавальних пристроїв та підвищується захищеність РЛС від імпульсних перешкод. Використання твердотільних передавальних модулів дає можливість відмовитися від високовольтної апаратури, пристроїв її охолодження, що значно підвищує надійність передавачів і зменшуються масогабаритні характеристики. Вітчизняним прикладом використання транзисторних палетів передавальних модулів на основі нітриду галію є РЛС 90К6 (рис. 5).



Рис. 5. РЛС 90К6 з твердотільним передавачем на транзисторних палетах на основі нітриду галію

Використання складених зондувальних сигналів з різними законами внутрішньоімпульсної модуляції дає можливість перекрити характерні для тривалих зондувальних сигналів “сліпі дальності” в зонах виявлення цілей. При використанні двох імпульсів, перший імпульс забезпечує огляд ближньої дистанції, а другий імпульс забезпечує огляд іншої дистанції.

Мініатюризація передавальних твердотільних модулів відкриває можливості для створення так званих “цифрових” РЛС, у яких використовуються активні ФАР із цифровим управлінням променем як на випромінювання, так і на прийом. У таких РЛС передавальний та приймальний пристрої у традиційному розумінні відсутні, а мініатюрні передавально-приймальні модулі розташовані безпосе-

редньо на антенному полотні за кожним з випромінювачів. Прикладом таких РЛС є російські удосконалені варіанти 1Л13 (1Л119 “Небо-СВУ”) [16] та РЛС 55Ж6 (55Ж6УМ “Ниобий”) [17]. Для РЛС метрового діапазону спостерігається тенденція здійснення АЦП та формування зондувальних сигналів безпосередньо на несучій частоті за схемою “формуваць (комп’ютер) – підсилювач потужності – антена”.

Широке використання спеціальних швидкодіючих процесорів для обробки радіолокаційних сигналів та інформаційних технологій при обробці і передачі радіолокаційної інформації надзвичайно розширює функціональні можливості РЛС як засобів розвідки:

- реалізація оптимальних (квазіоптимальних) алгоритмів обробки сигналів на фоні перешкод;
- адаптація до швидкозмінних умов радіоелектронної обстановки;
- мультирадарна обробка інформації;
- відображення інформації в різних формах;
- розвинена система автоматичного контролю та діагностики;
- висока швидкість обміну інформації із зовнішніми споживачами.

Загалом широке використання спеціальних швидкодіючих процесорів та нових інформаційних технологій забезпечує інтеграцію сучасних РЛС в інформаційні мережі різного призначення.

Спостерігається тенденція розширення функціональних можливостей сучасних РЛС.

По-перше, це тенденція суміщення в одній РЛС первинних та вторинних каналів з використанням однієї антени (РЛС “MARS-L”, рис. 6) та розміщенням в РЛС метрового діапазону антени запитувача системи державного впізнання на одному обертовому пристрої з основною антеною (JY-27) (рис. 7).



Рис. 6. РЛС “MARS-L” із суміщенням первинного та вторинного каналу в одній антені

По-друге, створення трикоординатних РЛС та відмова від такого класу РЛС, як радіовисотомір.

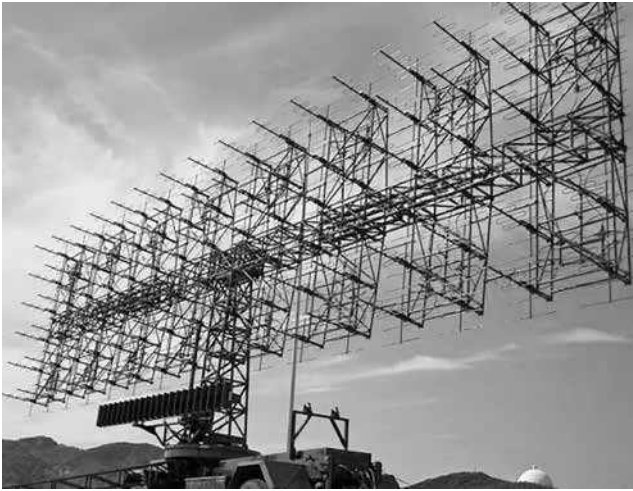


Рис. 7. РЛС YJ-27 метрового діапазону із розміщенням антен РЛС та системи державного впізнання

По-третє, реалізація функцій розпізнавання цілей за класами і типами з використанням поляризаційних, просторових, спектральних і траєкторних ознак.

По-четверте, розвиток нового класу мобільних оглядових РЛС, на які, крім традиційної задачі виявлення аеродинамічних цілей, покладається задача інформаційного забезпечення протиракетної оборони театру воєнних дій [6, 14, 18]. До таких РЛС належать американські РЛС подвійного призначення AN/TPS-117 і модернізована РЛС AN/TPS-59, а також російські РЛС 64Л6Е (“Гамма-С1”, рис. 8) та 67Н6 (“Гамма-Д”). Такі РЛС мають максимальний кут сканування у кутомірному секторі 55–60 градусів.



Рис. 8. РЛС “Гамма-С1”

По-п’яте, сучасні оглядові РЛС сантиметрового діапазону за принципами своєї побудови мають високі потенційні можливості щодо ведення метеорологічної розвідки та видачі метеоінформації, які до сьогодні майже не використовувалися. Між тим, при обробці прийнятих ехо-сигналів спеціальними методами доплерівської та поляризаційної селекції можна додатково отримати таку інформацію про метеорологічні об’єкти, як фазовий стан та інтенсивність метеоутворення, переважна орієнтація частинок гідрометеорів тощо. Тенденція використання оглядових РЛС сантиметрового діапазону, як засобів метеорологічної розвідки, набуває дедалі більшого поширення.

По-шосте, маючи у своєму складі потужні обчислювальні засоби, сучасні РЛС здатні здійснювати обробку не лише своєї інформації, а й даних, отриманих від інших РЛС, тобто здійснювати так звану мультирадарну (третинну) обробку інформації, що суттєво змінює роль таких РЛС у системі контролю повітряного простору. У перспективі кожна оглядова РЛС буде не тільки джерелом інформації про повітряну обстановку в певній області простору, а й зможе виконувати функції автоматизованого командного пункту радіотехнічного підрозділу. Це досягається за рахунок прийому та обробки інформації від зовнішніх джерел (не менш двох), які здатні видавати трасову інформацію про повітряні об’єкти (ПО). Така можливість вже реалізована в РЛС П-18МА, 5Н84МА.

По-сьоме, введення до складу РЛС приймачів системи автоматичного залежного спостереження “ADS-B”, що дозволяє виявляти і супроводжувати літаки, що обладнані бортовими відповідачами системи “ADS-B”, отримувати їх висоту і використовувати цю інформацію для юстирування РЛС.

Слід зазначити, що розширення функціональних можливостей РЛС здійснюється не лише під час розроблення нових зразків, а також за рахунок модернізації існуючих РЛС. Яскравим прикладом модернізації з суттєвим розширенням функціональних можливостей є американська РЛС AN/TPS-80 (G/ATOR) (Northrop Grumman Electronic Systems) (рис. 9). РЛС AN/TPS-80 є трикоординатною РЛС S-діапазону з активною ФАР та виконана у вигляді трьох компонентів на колісних шасі (“група радіолокаційного обладнання” (REG), “група комунікаційного оснащення” (CEG) і система енергопостачання (PEG)) [19].

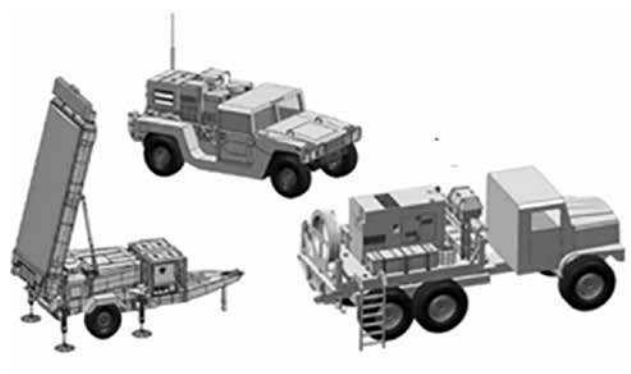


Рис. 9. РЛС AN/TPS-80

Важливою світовою тенденцією розвитку оглядових РЛС контролю повітряного простору є можливість їхнього використання в системах подвійного призначення [20]. Нові підходи до розробки і застосування РЛС, що використовуються спільно системами ППО та цивільною авіацією, за оцінками закордонних фахівців дадуть змогу з одного боку істотно зменшити вартість означених систем, а з іншого – розширити їх функціональні можливості, що зумовлено потребами інтегрованих систем виявлення та управління. На такі РЛС покладаються задачі підтримання безпеки польотів, управління повітряним рухом і контролю повітряного простору. Передбачається можливість адаптації режимів роботи підсистем і елементів РЛС залежно від умов навколишнього середовища. Крім того, станції матимуть гнучкість багатофункціонального застосування у складі будь-яких інформаційних мереж при взаємодії з іншими елементами автоматизованої системи управління (АСУ).

Прикладом сучасної РЛС подвійного призначення є американська РЛС ARSR-4 (W-2100). В Україні типовим прикладом РЛС подвійного призначення є РЛС ASR-22AL (рис. 10), в Російській Федерації – РЛС 1Л117, 1Л118, “Сопка-2”.

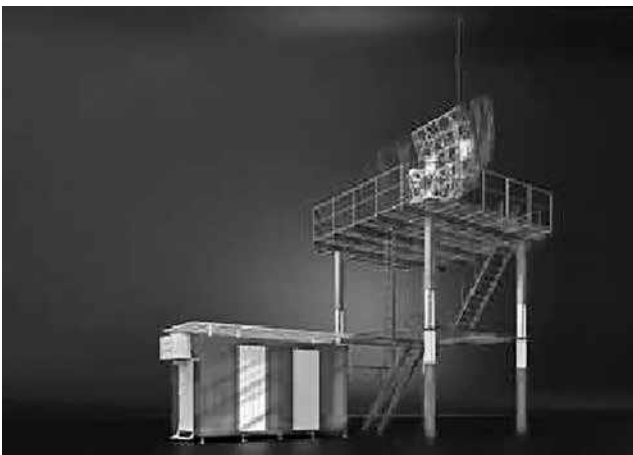


Рис. 10. РЛС ASR-22AL

Крім наведених вище, можна виділити наступні типові тенденції розвитку військової радіолокації:

1. Тенденція широкого використання COTS-технологій у засобах військової радіолокації. Одним з наслідків припинення “холодної війни” стало те, що перевага у темпах та якості технологічного розвитку перейшла від військових технологій до цивільних. Найбільш характерно ця тенденція проявляється в області радіоелектроніки та комп’ютерних технологій. Час, коли військові електронні технології були лідерами науково-технічного прогресу і визначали як з фінансового, так і з технологічного погляду основу всього електронного світу, минув. Сьогодні цивільний ринок засобів обчислювальної та радіоелектронної техніки диктує військовому ринку свої загальні технологічні, організаційні та бізнесові правила [21].

Це ключова тенденція у розвитку сучасних військових електронних технологій. Наприклад, армія США на сьогодні цілком перейшла на використання готових апаратних і програмних технологій відкритого типу, раніше широко

апробованих і стандартизованих на ринку загальнопромислових цивільних додатків. Ця технологія одержала назву COTS-технології, яка сьогодні широко використовується при створенні багатьох сучасних систем озброєнь. При використанні COTS-технологій у розробках сучасного озброєння характерні такі основні принципи [21]:

використання сучасних процесорів і відкритих промислових стандартів при створенні апаратних і програмних засобів;

розробка й використання в системах радіолокації та зв’язку для обробки сигналів спеціалізованих сигнальних процесорів і пристроїв на основі програмувальних логічних матриць, що застосовуються в медицині, геології та інших галузях науки й техніки;

можливість подальшої модифікації систем на основі новітніх технологій і розробок без зміни базового системного програмного забезпечення;

впровадження високорівневих програмних графічних інтерфейсів;

забезпечення створення систем у бортовому виконанні;

застосування на робочих місцях бойової обслуги стандартних промислових електронно-обчислювальних машин (ЕОМ);

зниження вартості нових систем порівняно з вартістю використання спеціалізованих рішень;

скорочення термінів розгортання прототипу системи для тестових випробувань до року і менше;

стовідсоткова програмна сумісність модулів комерційного, промислового і військового виконання, що дає змогу мінімізувати вартість процесу зі створення кінцевого бойового виробу в цілому;

використання стандартних апаратно-програмних модулів у різноманітних проєктах – від тренажера до РЛС, від РЛС до АСУ;

використання стандартних і сумісних серійних апаратних модульних компонентів відповідного виконання.

В результаті використання COTS-технологій прогнозується створення нових РЛС з відкритою архітектурою, що забезпечує реалізацію еволюційного розвитку і модульність конструкції техніки, взаємозамінюваність компонентів (у тому числі компонентів, що виробляються різними фірмами), перехід до програмно-апаратної реалізації систем, вузлів, блоків.

2. Тенденція до значного покращення експлуатаційних характеристик. Для більшості новітніх розробок запас ресурсу становить не менше 50 тисяч годин, а в перспективних РЛС він буде доведений до 100 тисяч годин, тобто до 10–15 років цілодобової роботи. При цьому зникає поняття капітального ремонту. Основу технічного обслуговування становитиме фірмове супроводження протягом усього життєвого циклу.

Середній час напрацювання на відмову сучасних і перспективних оглядових РЛС західного виробництва становить від 450 до 2000 годин. Для нових російських РЛС “Гамма-С1Е”, “Небо-СВУ”, “Ниобий” середній час напрацювання на відмову становить 500–600 годин. Для української РЛС П-18 “Малахіт” – 2000 год, середній час відновлення – 20–30 хв.

Одним з факторів, що сприяє підвищенню експлуатаційних характеристик РЛС, є перехід на модульний принцип побудови РЛС. Цей принцип передбачає можливість використання уніфікованих модулів з комерційного ринку, готових елементів (блоків, систем) для побудови або відновлення РЛС. До уніфікованих модулів сучасних РЛС можна віднести антенні системи, приймальні та передавальні системи, процесори обробки даних (сигнальні процесори), джерела первинного та вторинного живлення, тощо.

3. Тенденція до забезпечення “малообслуговуваності” сучасних і перспективних РЛС та створення РЛС-роботів. Використання новітніх розробок, зокрема, ФАР з твердотільними приймально-передавальними модулями і засобів обчислювальної техніки з високою продуктивністю обумовлює можливість створення РЛС з мінімальним рівнем обслуговування, що можуть ефективно використовуватися в інформаційних системах військового і цивільного призначення. Перші спроби створення РЛС-роботів, тобто автоматизованих дистанційно керованих РЛС, були ще у 1970-х роках у США (лінія DEW по 70-й паралелі Північноамериканського континенту) і в СРСР – аналогічна лінія в Заполяр’ї. Але через обмежені на той час можливості елементної бази і технологій вони були надзвичайно складними, мали низьку надійність і, будучи умовно автоматичними, знайшли обмежене використання лише у важкодоступних районах.

На сьогодні ситуація кардинально змінилася, і РЛС-роботи стали широко використовуватись у системах контролю повітряного простору, особливо на малих і гранично малих висотах. Прикладом використання автоматичних РЛС може слугувати лінія таких постів з аеростатним базуванням уздовж південного кордону США [22].

До основних тактичних завдань необслуговуваних дистанційно керованих маловисотних РЛС відносять:

створення смуг виявлення малорозмірних та маловисотних цілей на ракетонебезпечних напрямках;

виявлення малорозмірних та маловисотних цілей у прикордонних зонах;

спостереження за повітряним простором навколо особливо важливих об’єктів;

створення суцільного радіолокаційного поля на малих висотах в операційних зонах. У перспективі на основі таких необслуговуваних дистанційно керованих маловисотних РЛС, встановлених на вежах висотою до 30 м, можуть бути створені нові перспективні інформаційні мережі, які здатні забезпечити вогневі засоби інформацією необхідної якості.

Як при розробці нових, так і при модернізації існуючих РЛС однією з найважливіших задач є зниження вартості життєвого циклу, що досягається за рахунок зниження експлуатаційних витрат. Проведення заходів щодо зниження експлуатаційних витрат нині є невід’ємним елементом процесу розробки РЛС західного виробництва. Відношення енергетичного потенціалу РЛС до споживаної потужності, тобто своєрідний коефіцієнт корисної дії (ККД) РЛС, збільшився в кілька разів.

У сучасних і перспективних РЛС значна увага приділяється проблемі перешкодозахисту. Відомо, що ефек-

тивні перешкоди можна створити, якщо відомі основні технічні параметри РЛС, структура зондувального сигналу тощо. Тому світова тенденція у цьому напрямку перешкодозахищеності пов’язана з використанням шумових або шумоподібних зондувальних сигналів великої тривалості і малої потужності.

Для забезпечення перешкодозахищеності в перспективних РЛС [2 – 4], поряд з традиційними методами захисту від перешкод, планується використовувати і більш складні, які потребують значних матеріальних витрат. Наприклад, використання високоефективних ЕОМ з великим об’ємом пам’яті дозволяє запам’ятовувати радіолокаційну інформацію та адаптивно до перешкодової обстановки використовувати цей масив даних. Черговий зондувальний сигнал або пачка зондувальних імпульсів формується передавачем за новою структурою і за іншими законами модуляції. Таким чином, вдається підвищити скритність роботи РЛС і ускладнити противнику постановку перешкод.

У напрямку підвищення перешкодозахищеності РЛС здійснюється також реалізація режимів моніторингу радіоелектронної обстановки у смузї робочих частот РЛС та відображення його результатів на автоматизовані робочі місця АРМ операторів (РЛС П-18МА), введення режимів концентрації енергії (РЛС 90К6, 35Д6М) для ведення “силової” боротьби.

Кардинальним шляхом вирішення проблеми перешкодозахищеності спеціалісти вважають перехід до багатопозиційних радіолокаційних систем. У таких системах передавальна частина може бути розташована на одному носії, а приймальна (приймальні) – на інших. Це дозволить забезпечити скритність і перешкодозахищеність приймальної частини РЛС завдяки відсутності випромінювання. Захищеність носія передавальної частини досягається шляхом його віддалення від засобів вогневого ураження. Треба відзначити, що вирішення проблеми перешкодозахищеності є і залишається однією зі складних та затратних.

Загальною особливістю розвитку військової радіолокації є створення багатофункціональних і багаторежимних РЛС. В таких РЛС передбачається можливість адаптації до конкретної тактичної обстановки, вибір оптимального режиму функціонування (вид і структура зондувального сигналу, формування необхідної кількості променів діаграми спрямованості, адаптивне сканування простору, використання оптимальних методів оброблення сигналів, тощо).

ВИСНОВКИ

В цілому, узагальнення основних тенденцій розвитку військової радіолокації дозволяє зробити такі висновки.

1. Основу радіолокаційних засобів контролю повітряного простору в найближчій і середньостроковій перспективі, як і раніше, становитимуть однопозиційні первинні та вторинні РЛС, які просторово розподілені на відповідній території та об’єднані в єдину інформаційну мережу.

2. Збереження існуючих традиційних діапазонів довжин хвиль та перехід в міжнародні діапазони частот, які визначені для військового використання. Продовження

активного використання метрового діапазону хвиль. Підвищення кількості нових розробок в L-діапазоні. Створення дводіапазонних РЛС та тридіапазонних комплексів. Введення висотомірного каналу в дводіапазонні РЛС метрового діапазону хвиль.

3. Перехід на повністю твердотільні РЛС із ширококутовими сигналами та широке використання антенних решіток. Збереження кругового огляду з механічним обертанням в РЛС великої та середньої потужності. Введення адаптивного керування променем та потужністю у вертикальній площині. Використання кільцевих ФАР без механічного обертання в оглядових РЛС малої потужності. Автоматизація функціонування РЛС та створення РЛС-роботів.

4. Уніфікація побудови, універсальність обробки сигналів, реалізація принципу: антена – НВЧ приймально-передавальний діапазонний пристрій – уніфікована цифрова система формування та обробки сигналів (комп'ютер). Цифрове перетворювання сигналів безпосередньо на несучій частоті в РЛС метрового діапазону.

5. Розширення функціональних можливостей щодо розпізнавання цілей, видачі метеоінформації, вторинної та третинної (мультирадарної) обробки радіолокаційної інформації і покращення тактико-технічних характеристик за рахунок модульності побудови, використання сучасної і перспективної елементної бази, новітніх інформативних технологій. Зниження вартості життєвого циклу виробів.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Візія Повітряних Сил 2035. Вінниця : Командування Повітряних Сил Збройних Сил України. 2020. 44 с.
2. Barton, D.K. (2005). Radar System Analysis and Modeling. Norwood. USA : Artech House. Inc. 566 p.
3. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория: справочник / под ред. Я. Д. Ширмана. М. : Радиотехника. 2007. 512 с.
4. Radar Handbook / M. I. Skolnik ed. 3d ed. New York : McGraw-Hill. 2008. 1348 p.
5. Напрямки розвитку радіолокаційних засобів розвідки та контролю повітряного простору / Белавін О.В., Климченко В.Й., Камалтинов Г.Г., Маляренко О.С. Зб. наук. пр. Харківського нац. ун-у Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 2014. № 3(40). С. 47—52.
6. Boord, W.J. & Hofman, J.V. (2016). Air and Missile Defense Systems Engineering. Boca Raton (USA) : CRC Press Taylor & Francis Group. 268 p.
7. Аналіз науково-технічного супроводження розвитку озброєння та військової техніки РТВ / Гриб Д.А., Камалтинов Г.Г., Климченко В.Й., Тютюнник В.О. Зб. наук. пр. Харківського нац. ун-ту Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. Харків: ХНУПС. 2017. № 5(54). С. 33—37.
8. Світові тенденції розвитку радіолокаційних засобів контролю повітряного простору / Белавін О.В., Климченко В.Й., Камалтинов Г.Г., Маляренко О.С. Наука і оборона. 2015. № 1. С. 48—53.
9. Крылов Е. Перспективы развития радиолокационных станций вооружённых сил иностранных государств. Зарубежное военное обозрение. 2018. № 2. С. 37—43.
10. UkrOboronProm Radar. Radio communication and air defence systems. Catalogue. 2019. 1 CD-ROM.
11. XIV Міжнар. спеціалізована виставка «Зброя та безпека 2017». Офіційний каталог. Київ: Міжнар. виставковий центр. 2017. 1 CD-ROM.
12. XV Міжнар. спеціалізована виставка «Зброя та безпека 2018». Офіційний каталог. Київ: Міжнар. виставковий центр. 2018. 1 CD-ROM.
13. XVI Міжнар. спеціалізована виставка «Зброя та безпека 2019». Офіційний каталог. Київ: Міжнар. виставковий центр. 2019. 1 CD-ROM.
14. Инденбом М. В. Антенные решетки подвижных обзорных РЛС. Теория, расчет, конструкции. М. : Радиотехника. 2015. 416 с.
15. Ремезов А. Фазированные антенные решетки в радиолокационных станциях радиотехнических войск. Воздушно-космическая оборона. 2012. № 6. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.vko.ru>.
16. Таныгин Н.А., Гагауз В.С. Первая в мире мобильная РЛС метрового диапазона. Воздушно-космическая оборона. 2010. № 4. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.vko.ru>.
17. Рябов К. Радиолокационная станция 55Ж6УМ (“Ниобий”). Военное обозрение за 16.01.2014. [Электронный ресурс] –Режим доступа : <http://topwar.ru>.
18. Петров В., Гришулин С. Наземные радиолокационные станции ПВО–ПРО на ТВД стран НАТО. Зарубежное военное обозрение. 2010. № 8. С. 63—68.
19. AN/TPS-80 Ground/Air Task-Oriented Radar (G/ATOR). Available at: <https://www.northropgrumman.com/what-we-do/land/an-tps-80-ground-air-task-oriented-radar-g-ator/> (accessed 12 May 2021).
20. Кореньков В.М. Новые локаторы осваивают Арктику. Воздушно-космическая оборона. 2014. № 2. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.vko.ru>.
21. Рыбаков А.Н. Открытые компьютерные COTS-технологии в военных приложениях. М.: Открытые системы. 2000. № 4. С. 46—53.
22. Силкин А.Т., Бренер Б.А. ПВО Северо-Американского континента: сегодня и завтра. Воздушно-космическая оборона. 2002. № 3, 4. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.vko.ru>.

REFERENCES

1. The Armed Forces of Ukraine (2020), Viziia Povitrianykh Syl 2035 [Visiia of Air Forces 2035], Vinnytsia. 44 p.
2. Barton, D.K. (2005). Radar System Analysis and Modeling. Norwood. USA : Artech House. Inc. 566 p.
3. Shyrman, Ya. (2007), “Radioelektronnye systemy: Osnovy postroeniia i teoriia: spravochnyk” [Radioelectronic Systems: Fundamentals of Construction and Theory. Directory], Radiotechnics, M. 512 p.
4. Radar Handbook / M. I. Skolnik ed. 3d ed. New York : McGraw-Hill. 2008. 1348 p.
5. Bielavin, O., Klymchenko, V., Kamaltynov, H. & Ma-liarenko, O. (2014) “Napriamky rozvytku radiolokatsiinykh zasobiv rozvidky ta kontroliu povitrianoho prostoru” [Directions of development of radar means of

- reconnaissance and airspace control], Coll. of scientific works of Kharkiv Nat. Univ. of the Air Force. Kharkiv. No. 04(40). Pp. 47—52.
6. Boord, W.J. & Hofman, J.B. (2016). Air and Missile Defense Systems Engineering. Boca Raton (USA) : CRC Press Taylor & Francis Group. 268 p.
 7. Hryb, D., Kamal'tynov, H., Klymchenko, V. & Tiutiunyk, V. (2017), "Analiz naukovo-tekhnichnoho suprovdzhennia rozvytku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky RTV" [Analysis of scientific and technical support for the development of armaments and military equipment of radio troops], Coll. of scientific works of Kharkiv Nat. Univ. of the Air Force. Kharkiv. No. 05(54). Pp. 33—37.
 8. Bielavin, O., Klymchenko, V., Kamal'tynov, H. & Maliarenko, O. (2015), "Svitovi tendentsii rozvytku radiolokatsiinykh zasobiv kontroliu povitrianoho prostoru" [Global trends in the development of radar means of airspace control], Science and Technology. No 01. Pp. 48—53.
 9. Krylov, E. (2018), "Perspektyvy rozvytku radiolokatsiinykh stantsii zbroynykh syl inozemnykh derzhav" [Prospects for the development of radar stations of the armed forces of foreign states], Foreign Military Review. No 2. Pp. 37—43.
 10. UkrOboronProm Radar. Radio communication and air defence systems. Catalogue. 2019. 1 CD-ROM.
 11. Intern. Exhibition Center (2017), "XIV Mizhnarodna spetsializovana vystavka «Zbroia ta bezpeka 2017»" [XIV Intern. Specialized Exhibition "Weapons and security 2017"]. Official catalog. 1 CD-ROM
 12. Intern. Exhibition Center (2018), "XV Mizhnarodna spetsializovana vystavka «Zbroia ta bezpeka 2018»" [XV Intern. Specialized Exhibition "Weapons and security 2018"], Official catalog. 1 CD-ROM
 13. Intern. Exhibition Center (2019), "XVI Mizhnarodna spetsializovana vystavka «Zbroia ta bezpeka 2018»" [XVI Intern. Specialized Exhibition "Weapons and security 2019"], Official catalog. 1 CD-ROM
 14. Indenbom, M. (2015), "Antennye reshetky podvyzhykh obzornykh RLS. Teoriya, raschet, konstruktsii" [Antenna arrays of mobile surveillance radars. Theory, calculation, designs], Radiotechnics, M. 416 p.
 15. Remezov, A. (2012), "Fazyrovannyye antennye reshetky v radyolokatsyonnykh stantsiyakh radyotekhnicheskyykh voisk" [Phased antenna arrays in radar stations of radio technical troops], Aerospace defense. No. 06. Available at: <http://www.vko.ru>. (accessed 06 May 2021).
 16. Tanyhyn, N. & Hahauz, V. (2010), "Pervaia v myre mobyl'naiia RLS metrovoho dyapazona" [The world's first mobile VHF radar], Aerospace defense. No. 04. Available at: <http://www.vko.ru>. (accessed 05 May 2021).
 17. Riabov, K. (2014), "Radyolokatsyonnaia Stantsiia 55Zh6UM (Nyobyi)" [Radar station 55Zh6UM ("Niobium")], Military review for 16.01.2014. Available at: <http://topwar.ru>. (accessed 12 May 2021).
 18. Petrov, V. & Hryshulyn, S. (2010), "Nazemnyye radyolokatsyonnyye stantsyy PVO-PRO na TVD stran NATO" [Ground-based air defense-missile defense radars in the theater of operations of NATO countries], Foreign military review. No. 08. Pp. 63—68.
 19. AN/TPS-80 Ground/Air Task-Oriented Radar (G/ATOR). Available at: <https://www.northropgrumman.com/what-we-do/land/an-tps-80-ground-air-task-oriented-radar-g-ator/>(accessed 12 May 2021).
 20. Korenkov, V. (2014), "Novyye lokatory osvvaivaiut Arktiku" [New locators are exploring the Arctic], Aerospace defense. No. 02. Available at: <http://www.vko.ru>. (accessed 11 May 2021).
 21. Rybakov, A.N. (2000), "Otkrytye kompiuternyye COTS-tekhnologyy v voennykh prylozheniyakh" [Open computer COTS technologies in military applications], Open systems. M. No. 04. Pp. 46—53.
 22. Sylkyn, A.T. & Brener, B.A. (2002), "PVO Severo-Amerykanskooho kontynenta sehodnia i zavtra" [Air defense of the North American continent: today and tomorrow], Aerospace defense. No. 03, 04. Available at: <http://www.vko.ru>. (accessed 11 May 2021).

**Belyaev D., Zirka A., Semenyuk R.,
Tiutiunyk V., Kamal'tynov G.**

ANALYSIS OF TRENDS AND FORECASTS OF DEVELOPMENT OF MILITARY RADAR FOR AIR TARGET DETECTION FOR THE MEDIUM-TERM

The article presents the results of the analysis of the current state of radar technology, the needs of the airspace control system and the main trends in the development of military radar. According to the results of the analysis, the main trends in the development of military radar are presented at present, namely: complete use of frequency resources with simultaneous use in radar stations of several frequency ranges, widespread use of phased antenna lattices, transition to fully solid-state transmitters with broadband signals, the ability to use in double-voltage systems Appointment, improvement of operational characteristics. On the basis of the results obtained, priority directions of improvement of the park of weapons and military equipment of radio engineering troops of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine on the medium-term perspective are formed.

A common feature of the priority direction of the weapons and military equipment development of the radio-technical troops of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine in the medium term is the transition to fully solid-state radars with broadband signals and the widespread use of antenna arrays, as well as the creation of multifunctional and multi-mode radars, which provide for the possibility of adaptation to a specific tactical situation, the choice of the optimal mode of operation (the type and structure of the probing signal, the formation of the required number of radiation pattern beams, adaptive scanning of space, the use of optimal signal processing methods, etc.).

Keywords: military radar, radar, phased array, new technologies, ultra-high frequency solid-state devices.

Відомості про авторів:**Беляєв Данило Миколайович**

кандидат технічних наук
провідний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6707-554X>
e-mail: Danilla76@ukr.net

Зірка Андрій Леонідович

кандидат технічних наук
начальник науково-дослідного відділу розвитку радіотехнічних засобів науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Повітряних Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5304-2894>
e-mail: alzirka@ukr.net

Семенюк Римма Петрівна

науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8404-1894>

Тютюнник Владислав Олександрович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>

Камалтинов Геннадій Григорович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1449-5230>

Information about the authors:**Danil Belyaev**

Ph.D
Lead Researcher of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6707-554X>
e-mail: Danilla76@ukr.net

Andrii Zirka

Ph.D
Chief of Research Development Department of Radio Equipment Research management of Armament and Military Equipment of the Air Force of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5304-2894>
e-mail: alzirka@ukr.net

Rimma Semenyuk

Research Associate of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8404-1894>

Vladyslav Tiutiunnyk

Candidate of Technical Sciences, Senior Research,
Chief of Scientific Research Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>

Gennadii Kamaltynov

Candidate of Technical Sciences
Senior Research
Lead Researcher of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1449-5230>

Стаття надійшла до редколегії 01.06.2021.