

УДК 621.39

М.Ф. Пічугін<sup>1</sup>, А.Я. Яцуценко<sup>1</sup>, Д.В. Карлов<sup>1</sup>, Ю.В. Трофименко<sup>1</sup>, І.М. Пічугін<sup>1</sup>,  
М.В. Борцова<sup>2</sup>, О.Ю. Чернявський<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

<sup>3</sup>Національний технічний університет «ХПІ», Харків

## ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ОЗБРОЄННЯ ДЛЯ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ В УМОВАХ ЗАСТОСУВАННЯ ГІПЕРЗВУКОВИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Розглядаються основні тактичні та технічні проблеми побудови комплексів виявлення-знешкодження гіперзвукових літальних апаратів в активно-пасивній багатопозиційній РЛС (БР РЛС), оцінювання їх параметрів, оцінювання ступеня небезпечності виявлених об'єктів при створенні системи повітряно-космічного захисту від них при використанні доопрацьованих РЛС РТВ, засобів ППО Сухопутних військ, засобів ЗРВ та РЕБ і викладаються основні вимоги до швидкодії та ступеня автоматизації прийняття рішення.

**Ключові слова:** радіолокаційне озброєння, виявлення радіосигналів, гіперзвукові літальні апарати, оцінювання координат, повний вектор швидкості цілі, ступінь небезпечності.

### Постановка проблеми, аналіз останніх досягнень та публікацій

**Існуючі і перспективні загрози та способи їх усунення**

Гіперзвукова зброя – новий вид озброєнь, тому не існує ніяких міждержавних договорів, що обмежують створення гіперзвукових комплексів. А значить, вони можуть бути створені в будь-якій кількості й розміщені де завгодно на землі, в повітрі, на морі, в космосі.

Розвиток засобів повітряно-космічного нападу з урахуванням перспектив подано на рис.1.

У ряді передових країн світу здійснюється розробка і випробування гіперзвукових літальних апаратів. Проекти розробки гіперзвукових літальних апаратів (ГЗЛА) мають статус державної таємниці. За відкритими матеріалами Інтернету [1,...,5] відомо, що ведуться випробування гіперзвукових крилатих ракет повітряного і космічного старту. Американська ракета Х-51, що створюється компанією Boeing в рамках концепції «швидкого глобального удару», повинна розвивати швидкість в 6 М-7 М. Випробування почалися в 2010 році. Китайська ракета WU-14, що планує з космосу, почала випробовуватися в 2013 році. Причому щорік проводиться до трьох пусків, що вимагає значних витрат на озброєння. Заявлена швидкість боєголовки, що маневрує, – 10 м. Випробовується російська крилата проти-корабельна ракета «Циркон», яка у натовській класифікації вже отримала назву Yu-71. З п'яти пусків

останній (16 березня 2016 року) виявився повністю успішним. Вона призначена для озброєння ракетних крейсерів. Передбачувана швидкість орієнтовно – до 12 м, дальність – більше 1000 км.

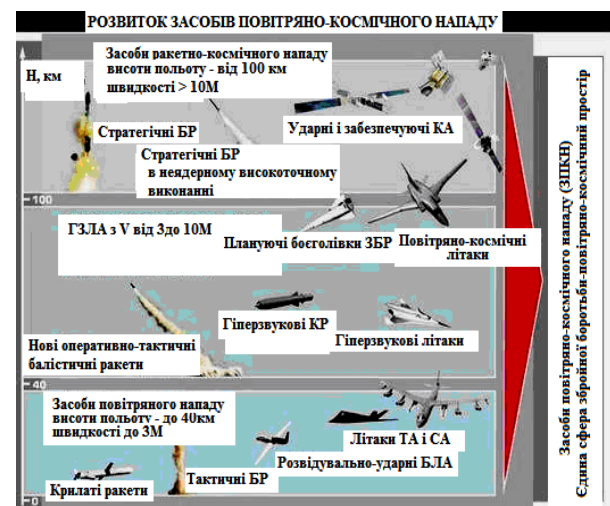


Рис. 1. Розвиток засобів повітряно-космічного нападу

Розробка корпорації Boeing - орбітальний космічний безпілотний апарат Х-37 Orbital Test Vehicle. Ці апарати запускаються на космічних кораблях Atlas-5 і можуть декілька років знаходитися на висотах від 200 до 750 км, міняти орбіту і маневрувати. Вважається, що Х-37 вже зараз здатний виконувати розвідувальні функції як супутник, але головна його спеціалізація в іншому. Він повинен стати платформою для розміщення на ньому гіперзвукових озброєнь, а також виконати

роль перехоплювача, що знищує ворожі супутники і завдає ударів по наземних об'єктах.

Сьогодні США мають три орбітальних літаки, причому один з них постійно знаходиться в космосі. Збільшення їх числа до п'яти-шести означає створення повноцінного угруповання, здатного нести постійне бойове чергування в космосі. До заявленого в плані ВПС США орбітального бомбардувальника ще далеко.

В останні десятиліття позначилися нові тенденції у збройній боротьбі.

По-перше, пілотовані ЗПН поступово поступаються місцем засобам повітряного нападу, керованим дистанційно (або керованим по завчасно введених програмах). Характерний і найбільш численний приклад - крилаті ракети (КР). За інформацією деяких джерел, число КР в збройних силах США до 2020 року може досягти 100 тисяч одиниць.

По-друге, космічний і повітряний простір зливається в єдину сферу збройної боротьби. Космос освоюється у військових цілях. А значить, і обсяг завдань, що покладаються на сили ППО (тепер уже ПКЗ), розширюється. Збільшується висотний діапазон об'єктів, що підлягають виявленню, подавленню і знищенню у війні. Очікувана поява гіперзвукових повітряних цілей (повітряно-космічних літаків) означатиме черговий науково-технічний прорив у розвитку ЗПКН.

Старі системи ППО ефективно боротися з такими цілями не здібні. Наздоганяючи лідера цієї гонки (повітряно-космічного противника), нам доведеться розробляти й упроваджувати у війська засоби ураження, що мають ще більші швидкості польоту. І цей новий виток еволюції знову не на користь сторони, що обороняється. Кінець кінцем ми створимо зброю, кожен постріл якої (незалежно від результату) коштуватиме дорожче, ніж уражений (або неуразений) повітряно-космічний апарат противника.

По-третє, реакція розвитку засобів ППО на науку засобів повітряного нападу стає все менш адекватною. Ще недавно нові і проривні фізичні принципи ППО стають вчорашнім днем. Звичайно ж, можливості реактивних технологій, радіолокації далеко не вичерпані. Але навряд чи це революційно змінить розставлення сил в повітряно-космічній сфері збройної боротьби між тими, хто нападає, і тими, хто обороняється.

За даними з іноземних джерел, російський гіперзвуковий блок здатний пересуватися з швидкістю понад 11 тисяч кілометрів на годину, маневруючи при цьому.

Великі швидкості літальних апаратів призводять до скорочення часу перебування їх в зонах виявлення й ураження. Скорочується час на

прийняття рішення на знищення. Виникає необхідність підвищення ступеня автоматизації процесів виявлення цілей, використання елементів штучного інтелекту, розпізнавання ступеня небезпечності для об'єктів, що обороняються. Малі висоти руху гіперзвукових літальних апаратів зменшують зону виявлення їх наземними радіолокаційними системами. Антени РЛС необхідно підіймати над поверхнею Землі, або використовувати особливості розповсюдження радіохвиль (РРХ) над поверхнею Землі. Недоліком існуючих систем виявлення повітряно-космічних цілей засобами протиповітряної і протиракетної оборони є те, що вони не забезпечують виявлення маневруючих цілей, що рухаються з гіперзвуковими швидкостями на малій висоті з огинанням рельєфу місцевості.

В сучасних умовах проведення швидкоплинних повітряно-наземних операцій при використанні гіперзвукових аеродинамічних і повітряно-космічних літальних апаратів значно зростають роль і вимоги до радіолокаційних систем різного призначення і до циклу їх бойового застосування. Система радіолокаційного озброєння повинна бути високоточною та виконувати завдання повітряно-космічного захисту.

При застосуванні гіперзвукових літальних апаратів технічні засоби контролю повітряного простору повинні виявляти літальні апарати як з балістичними траєкторіями, так і аеродинамічними.

Актуальність для України, яка є однією з найбільших держав Східної Європи, займає вигідне географічне положення і знайдуться режими в сусідніх країнах, які здатні на анексію окремих територій, а то і на підкорення всієї території.

На даному етапі на озброєнні у жодної країни немає гіперзвукових літальних апаратів, окрім бойових блоків, що планують, міжконтинентальних балістичних ракет.

З появою ГЗЛА на ринку озброєнь можливе їх розповсюдження. Тому огляд проблем захисту від ГЗЛА є актуальним для розвитку озброєння Повітряних Сил України.

**Мета статті:** Розглянути основні проблеми створення радіолокаційного озброєння в системі захисту від гіперзвукових літальних апаратів у Повітряних Силах України та шляхи їх вирішення.

### **Постановка задачі та виклад матеріалів дослідження**

Ставиться завдання на визначення основних проблем при створенні перспективного радіолокаційного озброєння для Повітряних Сил з урахуванням нових загроз для України та можливих шляхів захисту від гіперзвукових літальних апаратів.

Основні проблеми створення радіолокаційного озброєння мають тактичний та технічний характер і ґрунтуються на економічних можливостях держави.

Гіперзвукова ударна зброя класифікується за:  
дислокацією запуску – космічна, повітряна, морська, космічно-повітряна;  
дальністю дії – ближньої, середньої та дальньої дії;  
управлінням – пілотована, безпілотна.

**Проблеми створення радіолокаційного озброєння для повітряно-космічного захисту тактичного плану:**

- значне зменшення підлітного часу до цілі, а відповідно, і зменшення ліміту часу, який має в своєму розпорядженні протидія сторона на підготовку протидії;

- необхідність мати ЛА аналогічного класу, що здатні здійснювати перехоплення ГЗЛА;

- неможливість ефективного застосування існуючих засобів виявлення повітряно-космічних цілей.

Для обґрунтування проблем створення радіолокаційного озброєння необхідно розглянути коло системних питань, які характеризують процес виявлення цілей, оцінювання координат і цілевказання засобам знешкодження.

**Проблеми захисту від гіперзвукової ударної зброї:**

гарантоване виявлення гіперзвукових літальних апаратів, високоточне оцінювання параметрів їх руху з високим темпом оновлення інформації;

використання засобів РЕБ для подавлення радіовисотоміра ГЗЛА, для подавлення радіонавігаційного каналу, для функціонального ураження бортового радіоелектронного обладнання.

**Використання лазерної і протиракетної зброї**

Довгострокова стратегія розвитку ПКЗ повинна базуватися на ряді обов'язкових для дотримання базисних (принципових) положень.

Не менш важливим питанням, ніж створення технологій, матеріалів і демонстраторів, зараз є розробка концепції бойового застосування гіперзвукових систем озброєнь і захисту від них. Необхідно відповісти на питання – для чого потрібні такі системи, як їх необхідно застосовувати, в яких формах і способах, яких цілей планується досягти в результаті застосування. І головне питання – в чому унікальність таких систем і які завдання вони можуть вирішувати, які неможливо вирішити існуючими системами озброєнь.

**Технічні проблеми створення радіолокаційного озброєння для повітряно-космічного захисту держави**

При виконанні завдань повітряно-космічного захисту зона контролю простору над територією, що

обороняється, повинна бути у вигляді верхньої напівсфери.

Одним із варіантів рішення проблеми контролю повітряного простору над територією України є створення комплексів зі сферичною антенною системою.

Приклад сферичної антенної решітки для виявлення повітряно-космічних літальних апаратів подано на рис. 2.

Ряд авторів [23] схиляється до того, що в деяких випадках використання АС (як приймальної антени) можливе у вигляді системи випромінювачів, розміщених на сферичній поверхні. Однією з характерних особливостей СФАР також є відсутність дифракційних максимумів, співпадаючих за рівнем з головним максимумом ДС.

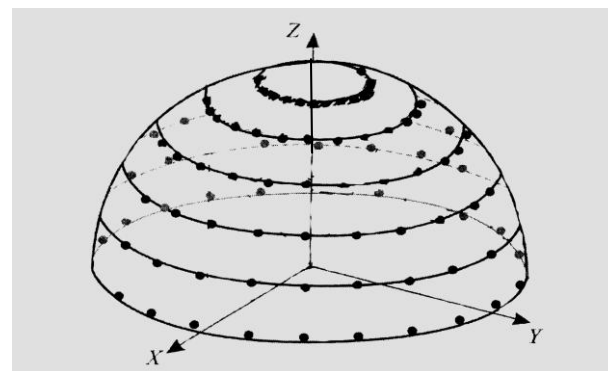


Рис. 2. Сферична антенна решітка

Подібна властивість обумовлена тим, що при гостроспрямованому випромінюванні синфазні поля окремих елементів можуть підсумовуватися лише у напрямі головного максимуму. В інших напрямках через неплоску поверхню решітки просторовий набіг фази не компенсує фази збудження одночасно для всіх елементів решітки і дифракційні максимуми розмиваються в широкому секторі кутів. При цьому їх рівень може істотно зменшитися. Тому при допустимих рівнях дифракційних максимумів перехід від плоских решіток до сферичних дозволяє збільшити відстань між випромінювачами до  $\lambda$  і навіть більше.

Боротьба з гіперзвуковими літальними апаратами, що рухаються з огинанням рельєфу місцевості, ускладнена тим, що для їх виявлення необхідна система радіолокаторів, що розташовані на літальних апаратах.

Приклад американської протиракетної оборони з використанням радіолокаторів виявлення на дирижаблях подано на рис. 3.

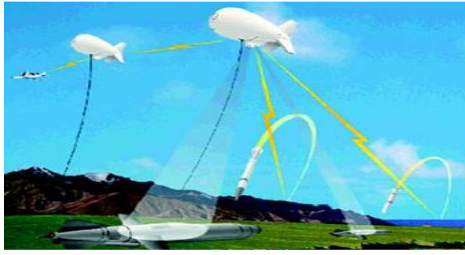


Рис. 3. Американська протиракетна мережа виявлення і наведення протиракет з дирижаблів

Корпорація Raytheon мала намір в 2009 році приступити до випробувань системи оборони від крилатих ракет. Особливість цієї системи полягає в тому, що всі радары будуть розміщені на дирижаблях. Річ у тому, що крилаті ракети дуже складно виявити через те, що вони летять низько над землею, огинаючи нерівності земної поверхні. Краще всього з цим завданням може справитися літак ДРЛВ або дирижабль. Проте постійно тримати в повітрі декілька "аваксів" неможливо, і тому цепеліни є єдиним можливим варіантом для довготривалого захисту великих територій.

На даному етапі планується оснастити кожен дирижабль двома радарями. Один відстежуватиме пуск і траєкторію польоту ракети, а другий - наводити на неї перехоплювач. Кожен апарат буде "прив'язаний" до мобільної наземної станції, на якій знаходиться комп'ютер для обробки інформації, що постуила.

Для забезпечення гарантованого виявлення гіперзвукових літальних апаратів над територією, що обороняється, необхідна система радіолокаційного виявлення з великою швидкістю та високою точністю визначення координат і повного вектора швидкості цілі з високим темпом оновлення інформації.

Технічне рішення скорочення циклу огляду зони контролю вимагає використовувати електронне сканування діаграми спрямованості та багатоканальні антенні системи.

Виходячи з цього поставлену задачу пропонується вирішувати на даному етапі за рахунок створення активно-пасивних БП РЛС, що працюють в можливому секторі зони огляду простору, і отримання інформації про аеродинамічні цілі в зоні дії БП РЛС при використанні трьох уніфікованих приймальних пунктів у діапазоні роботи РЛС з аналого-цифровим перетворенням сигналів, засобами синхронізації і управління, апаратурою передачі цифрової інформації на загальний пункт обробки інформації.

Фактично комплекс засобів БП РЛС повинен виконувати функції виявлення як гіперзвукових літальних апаратів, так і понадзвукових і дозвукових. Проблема автоматичної класифікації виявлених об'єктів вирішується за рахунок моноімпульсного

оцінювання повного вектора швидкості цілі. Аналіз роботи існуючих РЛС дальнього виявлення показав, що відсутність оцінки повного вектора швидкості цілі веде до хибної класифікації цілей в умовах наявності відбитих радіосигналів від неоднорідностей іоносфери як малорухомих, так і швидко-рухливих. Недосконалість бойових алгоритмів також пов'язана з недосконалістю однопозиційних РЛС.

Основні тактико-технічні вимоги до комплексу ПКЗ необхідно формулювати на основі завдання на призначення комплексу – гарантованого знешкодження ГЗЛА (з заданою ймовірністю знешкодження).

Синтез комплексу повітряно-космічного захисту можливо здійснити на основі оцінки ефективності функціонування автоматичних РЛС при апроксимації марківськими розгалуженими і неоднорідними ланцюгами з урахуванням радіоелектронних впливів [12].

Варіант побудови алгоритму енергетичного виявлення й оцінювання параметрів радіосигналу подано на рис. 4.

#### Вимірювані параметри

На кожному пункті вимірюються: двокоординатні пеленги на ціль і дальність до цілі, що підсвічується радіосигналом однією з РЛС в режимі огляду зони контролю, частоти прийнятих сигналів.

Алгоритм обробки інформації для визначення повного вектора швидкості цілі на загальному пункті ґрунтується на вирішенні системи векторних рівнянь і включає перерахунок координат цілей із місцевої сферичної системи координат в місцеву прямокутну систему координат, визначення радіальних складових вектора швидкості цілі на кожній позиції, визначення із системи рівнянь модуля повного вектора швидкості цілі, його напрямних косинусів.

Радіальна складова вектора швидкості цілі  $V_{ri}$  в  $i$ -тій точці спостереження – проекція вектора швидкості цілі  $\mathbf{V}$  на напрямок ціль – точка спостереження. Кут між векторами у просторі знаходиться із виразу

$$\cos \xi_i = \frac{V_{ri} \mathbf{V}}{|\mathbf{V}_{ri}| |\mathbf{V}|}. \quad (1)$$

Система рівнянь, яка дозволяє однозначно визначити повний вектор швидкості цілі та його просторову орієнтацію, в координатній формі має вигляд:

$$\begin{cases} V_{r0} = V(n_x n_{x0} + n_y n_{y0} + n_z n_{z0}); \\ V_{r1} = V(n_x n_{x1} + n_y n_{y1} + n_z n_{z1}); \\ V_{r2} = V(n_x n_{x2} + n_y n_{y2} + n_z n_{z2}); \\ n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = 1, \end{cases} \quad (2)$$

де  $n_x, n_y, n_z$  – напрямні косинуси вектора швидкості ГЗЛА;



$n_{xi}, n_{yi}, n_{zi}$  – напрямні косинуси радіальної складової вектора швидкості ГЗЛА на кожному пункті оцінювання;

$V_{ri}$ ;  $V$  – модуль радіальної складової на кожному пункті оцінювання і модуль вектора швидкості ГЗЛА.

Розпізнавання класів об'єктів із заданими помилками першого і другого роду за повним вектором швидкості цілі, просторовим положенням цілі, просторовою орієнтацією вектора швидкості цілі здійснюється методом дихотомій шляхом перевірки простих гіпотез проти складних.

#### Очікуваний ефект

Своєчасне виявлення нальоту гіперзвукових цілей в зоні дії БП РЛС, формування інформації попередження та інформації цілевказання на засоби знешкодження.

Показники ефективності способу визначення координат цілі та її повного вектора швидкості в активно-пасивній (пасивній) БП РЛС:

- абсолютна максимальна помилка визначення координат цілі  $\Delta r$ ;

- відносна максимальна помилка визначення модуля повного вектора швидкості цілі:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta V_{\theta} - V}{V}; \quad (3)$$

- кут відхилення просторової орієнтації вирахованого значення вектора швидкості цілі від істинного напрямку польоту цілі  $\Delta\theta$ :

$$\Delta\theta = \arccos(n_x n_{x\theta} + n_y n_{y\theta} + n_z n_{z\theta}), \quad (4)$$

де  $n_{x\theta}, n_{y\theta}, n_{z\theta}$  – напрямні косинуси визначеного вектора швидкості цілі;

$n_x, n_y, n_z$  – напрямні косинуси істинної орієнтації вектора швидкості цілі;

- помилки класифікації цілі першого і другого роду (умовні ймовірності хибної класифікації і пропуску класу цілі).

Варіанти алгоритму вторинної обробки інформації для активно-пасивної і пасивної БП РЛС досліджувалися в [10-21].

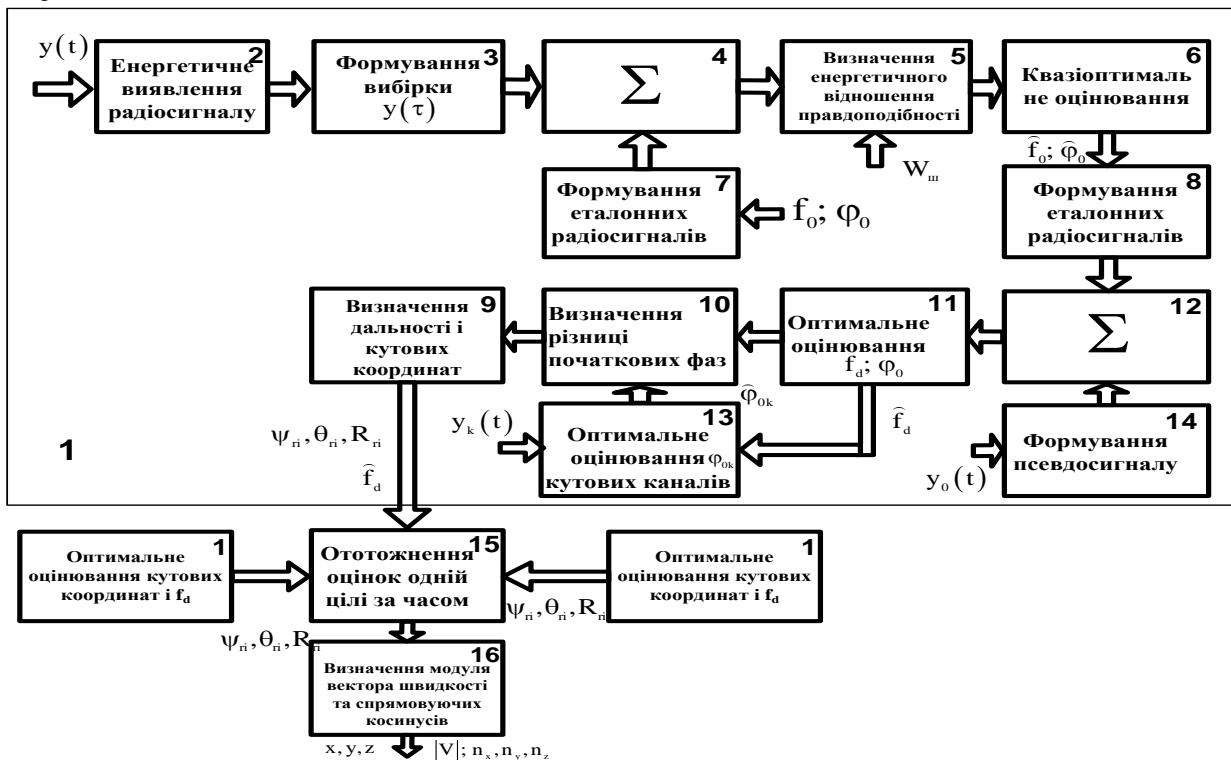


Рис. 4. Варіант побудови алгоритму енергетичного виявлення і оцінювання параметрів радіосигналу в активно-пасивній БП РЛС

На рис. 5а подана залежність відносної помилки визначення модуля повного вектора швидкості цілі від помилки оцінювання доплерівської частоти виявленого радіосигналу для цілей з дозвуковою і гіперзвуковою швидкостями при рівних помилках визначення пеленгів на ціль при однаковому їх просторовому положенні. На рис. 5б подана залежність кута відхилення просторової

орієнтації вирахованого значення вектора швидкості цілі від істинного напрямку польоту цілі для цілей з дозвуковою і гіперзвуковою швидкостями при рівних помилках визначення пеленгів на ціль при однаковому їх просторовому положенні.

Залежності помилок визначення модуля повного вектора швидкості цілі з дозвуковою швидкістю і кута його відхилення при різному

азимутальному положенні цілі при фіксованому значенні помилок визначення кутових координат і доплерівської частоти подані на рис. 6.

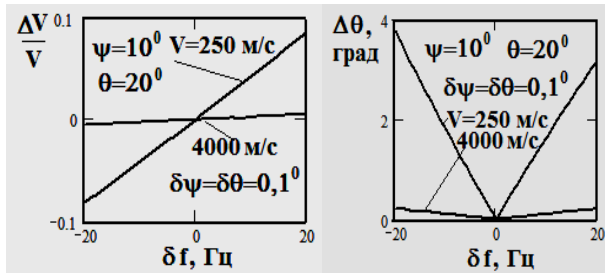


Рис. 5. Залежності помилок визначення модуля повного вектора швидкості цілі і кута його відхилення від помилок визначення доплерівської частоти виявленого радіосигналу

Практична реалізація БП РЛС на даному етапі можлива при використанні трьох РЛС РТВ, що працюють в секторному режимі на ракетно небезпечному напрямі при їх синхронізації і доопрацюванні радіоприймачів та створенні бойового алгоритму автоматичної роботи при використанні новітніх інформаційних технологій цифрової обробки інформації на загальному пункті. Але це вирішить завдання тільки виявлення гіперзвукових цілей над радіообрієм.

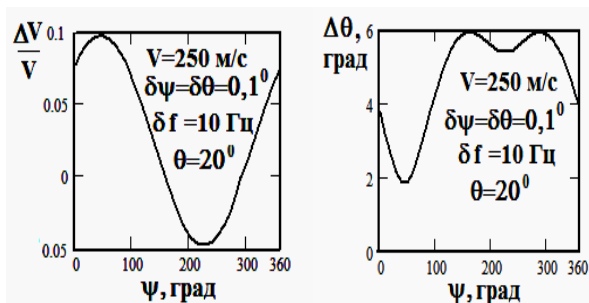


Рис. 6. Залежності помилок визначення модуля повного вектора швидкості цілі і кута його відхилення при різному азимутальному положенні цілі

Для варіанта використання РЛС РТВ випромінювання в бар'єрній зоні можливе декількома способами:

- когерентне складання радіосигналів кожної з них у вибраних точках;
- випромінювання радіосигналів з однієї позиції;
- випромінювання радіосигналів за випадковим законом з кожної позиції.

Як базу РЛС можна використати вітчизняну РЛС 80К6Т – мобільний оглядовий 3D радіолокатор S діапазону частот (рис. 7).

Мобільний 3D радіолокатор кругового огляду з транзисторним передавачем призначений для виявлення цілей, що летять на низьких, середніх і великих висотах, розроблений для використання в

зенітних ракетних військах як засіб видачі цілевказівки, як інформаційне джерело в підрозділах Повітряних Сил і протиповітряної оборони.



Рис. 7. РЛС 80К6Т – мобільний оглядовий 3D радіолокатор S діапазону частот

Зона огляду простору у вертикальній площині РЛС 80К6Т подана на рис. 8.

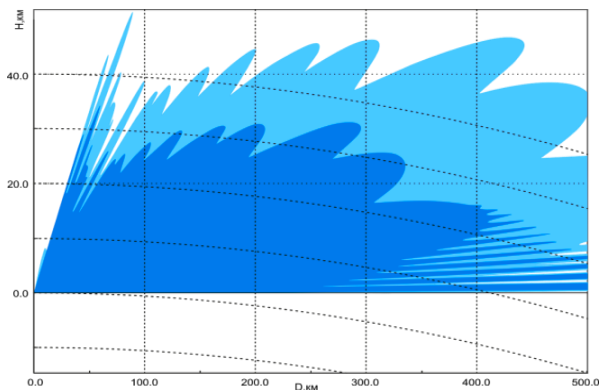


Рис. 8. Зона огляду простору РЛС 80К6Т у вертикальній площині

Варіант огляду бар'єрної зони виявлення гіперзвукових цілей БП РЛС подано на рис. 9.

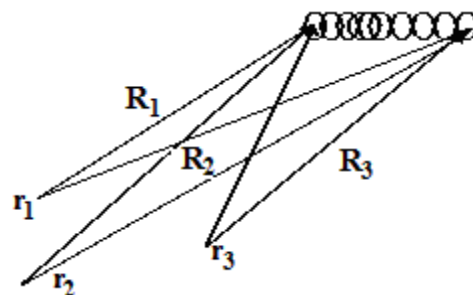


Рис. 9. Варіант огляду бар'єрної зони виявлення

де  $R_i$  – вектори орієнтації максимумів ДС початку і кінця бар'єрної зони на прийом.

Окрім того необхідна інтеграція в єдину систему комплексу ПКЗ засобів РЕБ для імітації викривлення рельєфу місцевості, щоб радіовисотомір крилатої ракети показав необхідність

підйому її на висоту, де вона попаде в зону впливу вогневих засобів ближньої дії як артилерійських, так і ракетних. Включення генераторів РЕБ повинно здійснюватися за випромінюванням радіовисотоміра ГЗЦ.

Крилаті гіперзвукові ракети мають канали прийому супутникової радіонавігаційної системи.

Подавлення приймачів радіонавігаційних сигналів гіперзвукових літальних апаратів збільшить ймовірність їх знешкодження, але подавлення необхідно здійснювати зверху, тобто з засобів РЕБ, що розташовані на літальних апаратах або на аеростатах.

#### Особливості використання зенітних ракетних комплексів

Для успішного наведення протиракет необхідна їх швидкість не менша швидкості самих гіперзвукових літальних апаратів.

Існуючі зенітні ракетні комплекси можливо використати для знешкодження гіперзвукових літальних апаратів на зустрічних курсах, але необхідне доопрацювання алгоритмів наведення існуючих ракет ЗРВ і ППО сухопутних військ.

Просторово-швидкісний діапазон застосування ЗРС С-300 подано в таблиці.

Таблиця

Просторово-швидкісний діапазон застосування ЗРС С-300

Тип ЗРС	Максимальна дальність (висота) ураження, км	Максимальна швидкість ЗКР, М
С-300ПС	75(27)	3,6
С-300ПМ	75(27)	5,5
С-300ПМ-1-2	150(25)	8,5

Зараз у провідних країнах світу розробляються і навіть прийняті на озброєння ЗРК, які здатні уражати повітряні цілі зі швидкостями від 14-20 М.

Спосіб самонаведення літальних апаратів на гіперзвукові цілі (ГЗЦ) подано на рис. 10.

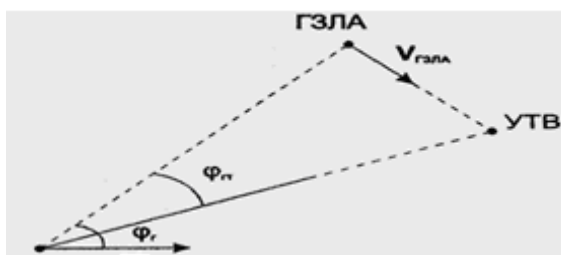


Рис. 10. Спосіб самонаведення літальних апаратів (ЛА) на гіперзвукові цілі (ГЗЦ)

Спосіб самонаведення літальних апаратів (ЛА) на гіперзвукові цілі (ГЗЦ) [22], при якому параметр відхилення пропорційний різниці необхідного і фактичного кутів попередження, що полягає в одночасному вимірі і оцінці значень бортових

пеленгів ГЗЦ, дальності від ЛА, що наводиться, до ГЗЦ і швидкостей їх зближення. При цьому вимірюються й оцінюються кутова швидкість лінії візування ГЗЦ (КШЛВ), поперечні прискорення ГЗЦ і ЛА, що наводиться, в горизонтальній і вертикальній площинах, і формується сигнал управління ЛА в горизонтальній і вертикальній площинах.

Можливим варіантом наведення протиракет на ціль є наведення за командами, що сформовані безпосередньо бойовим алгоритмом БП РЛС на основі оцінювання повного вектора швидкості цілі. Це спрощує приймач протиракет (здешевлює її) і вимагає багатоканальності БП РЛС за простором.

#### Пасивна БП РЛС з аналізом несної частоти супутникового телебачення

Окрім активно-пасивної БП РЛС можливе використання пасивної БП РЛС з аналізом несної частоти супутникового телебачення. При цьому один із пасивних пеленгаторів налаштовується просторово на вибраний супутник. Зона контролю оцінюється шириною діаграми спрямованості радіопеленгатора, а вона складає 1-2°. Для розширення зони контролю необхідно збільшувати кількість приймальних пунктів, налаштованих на вибраний супутник. Для визначення повного вектора швидкості цілі, за визначеною основним пеленгаційним пунктом дальністю до цілі, діаграми спрямованості трьох інших пеленгаційних пунктів налаштовуються на точку виявлення цілі основним радіопеленгатором для прийому відбитих ціллю радіосигналів. Для формування зони огляду необхідна значна кількість приймальних пунктів.

Пасивна БП РЛС з аналізом несної частоти супутникового телебачення подана на рис. 11.

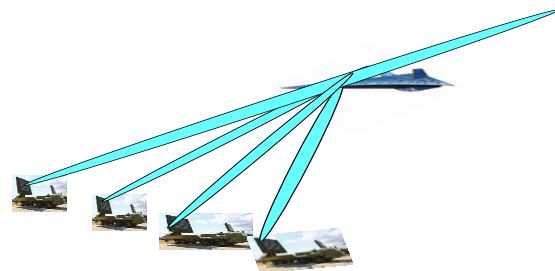


Рис. 11. Пасивна БП РЛС з аналізом несної частоти супутникового телебачення

#### Бістатична БП РЛС

Одним із варіантів створення засобу радіолокаційного виявлення є використання похилого розповсюдження радіохвиль, коли передавальна антена рознесена з приймальними пунктами. Похиле розповсюдження радіохвиль збільшує ефективну довжину радіохвиль в  $\sec \varphi$  раз.

#### Підсистема ураження

При створенні підсистеми ураження і подавлення мають бути намічені напрями розвитку, які дозволять практично звести нанівець відставання рівня розвитку засобів оборони від засобів нападу.

Основною лінією тут має бути додання засобам ППО можливостей по боротьбі з різними типами ЗПКН противника, включаючи і гіперзвукові цілі.

Створювати систему ПКЗ необхідно як якісно нову систему, призначену для боротьби з окремими засобами або групами ЗПКН, для протидії системі нападу повітряно-космічних сил і засобів.

**Одним із варіантів системи ПКЗ** є створення автоматичних інтегрованих систем виявлення-функціонального ураження радіоелектронних засобів маловисотних цілей в зоні дії БП РЛС [11].

Суть використання засобів функціонального ураження полягає в автоматичному включенні за випромінюванням радіовисотоміра ГЗЦ системи лінійно розташованих у просторі бар'єрних зон функціонального ураження радіоелектронних засобів (РЕЗ) аеродинамічних цілей.

**Для оцінки ефективності системи виявлення – функціонального ураження радіоелектронних засобів аеродинамічних цілей, окрім розглянутих вище, використовуються такі показники:**

- відносна помилка визначення часу включення кожного необхідного генератора послідовностей наносекундних імпульсів у залежності від помилок вимірювання координат, орієнтації цілі у просторі, умов розповсюдження радіохвиль

$$\Delta_{ti} = \frac{t_{pmi} - t_{mi}}{t_{mi}}; \quad (6)$$

- мінімально необхідна кількість мікрохвильових генераторів для гарантованого функціонального ураження аеродинамічних цілей в заданому секторі відповідальності. Кількість імпульсів мікрохвильового генератора  $n$ , що слідує з частотою  $f$  на висоті гарантованого функціонального ураження  $H_{yp}$  в залежності від числа ліній функціонального ураження  $k$ :

$$n = H_{yp} k \frac{2f \sin \beta / 2}{V}, \quad (7)$$

де  $\beta$  – ширина діаграми спрямованості одиночного генератора функціонального ураження за половинною потужністю.

Попередні результати дослідження комплексу виявлення-функціонального ураження РЕЗ аеродинамічних цілей подані в [11].

Пріоритетом в створенні системи ПКЗ має бути розвиток системи розвідки і попередження про повітряно-космічний напад і системи управління. Вирішення цих питань можливе шляхом інтеграції всіх наявних сьогодні і таких, що розробляються, перспективних інформаційних засобів різних принципів дії і видів базування незалежно від видової або відомчої приналежності [1,6]. При створенні підсистеми ураження і подавлення мають бути намічені напрями розвитку, які дозволять

практично звести нанівець відставання рівня розвитку засобів захисту від засобів нападу. Основною лінією тут має бути додання засобам ППО можливостей щодо боротьби з різними типами ЗПКН противника, включаючи і гіперзвукові цілі.

Час, необхідний для зав'язки траси по цілі, в КСА складає близько 20 с. При проходженні інформації про цілі в ланках від роти до бригади воно подвоюється, що робить процеси цілерозподілу і целевказівки по ГЗЛА на оперативно-тактичному рівні недоцільними.

КСА в системах ПКЗ через специфіку вирішуваних завдань є їх складовими елементами. Необхідно створювати принципово нові КСА на базі персональних ЕОМ, здатних працювати в єдиному інформаційному середовищі під управлінням стандартних типових алгоритмів і універсальні для будь-якого виду ЗС і роду військ.

## Висновки

Виходячи з принципових змін, обумовлених якісним зростанням засобів повітряно-космічного нападу, пропонується використання активно-пасивних і пасивних БП РЛС як варіант розвитку радіолокаційного озброєння з метою створення комплексу ПКЗ.

Запропонований варіант побудови комплексу повітряно-космічного захисту від гіперзвукових літальних апаратів з використанням існуючих засобів виявлення і знешкодження вимагає доопрацювання існуючих засобів виявлення, переведення їх на цифрову обробку інформації, синхронізації з використанням існуючих доопрацьованих засобів знешкодження показує необхідність більш глибокої проробки розглянутих питань.

Методика визначення повного вектора швидкості цілі моноімпульсним способом розширяє системні можливості просторово рознесеної радіолокаційної системи і дозволяє визначити швидкість та напрямок руху цілі по одному сигналу, підвищити вірогідність правильної класифікації виявлених цілей на фоні перешкод в кожному такті виявлення, що необхідно при автоматичному використанні отриманої інформації для плинної класифікації виявлених цілей і побудови траєкторії руху маневруючої гіперзвукової цілі.

Розглянута модель процесу визначення повного вектора швидкості цілі може бути використана для пошуку оптимального варіанта побудови активно-пасивної БП РЛС ПКЗ.

## Список літератури

1. [http://www.syl.ru/article/195564/new\\_giperzvukovyi-e-raketyi-rossii-i-ih-ispytaniya-giperzvukovyye-raketyi-ssha](http://www.syl.ru/article/195564/new_giperzvukovyi-e-raketyi-rossii-i-ih-ispytaniya-giperzvukovyye-raketyi-ssha)
2. <http://argumentiru.com/army/2016/02/421949>
3. <http://vpk-news.ru/articles/29966>



4. Купцов И.М. Борьба с гиперзвуковыми летательными аппаратами (ГЗЛА): новая задача и требования к системе воздушно-космической обороны (ВКО) // Военная мысль № 1, 2011. – С. 10-17.
5. Канащенков А.И., Меркулов В.И., Самарин О.Ф. Облик перспективных бортовых радиолокационных систем. Возможности и ограничения. – М.: ИПРЖР, 2002.
6. Меркулов В.И., Дрогалин В.В., Канащенков А.И. и др. Авиационные системы радиоуправления. Т.1. Принципы построения систем радиоуправления. Основы синтеза и анализа / Под ред. Канащенкова А.И. и Меркулова В.И. – М.: Радиотехника, 2003.
7. Канащенков А.И., Меркулов В.И., Герасимов А.А. и др. Радиолокационные системы многофункциональных самолетов. Т.1. РЛС – информационная основа боевых действий многофункциональных самолетов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов. / Под ред. Канащенкова А.И. и Меркулова В.И. – М.: Радиотехника, 2006.
8. Криницький Ю.В. Нужны средства ВКО на новых физических принципах // Воздушно-космическая оборона № 5, 2012 г. – С. 2.
9. Меркулов В.И., Дрогалин В.В., Канащенков А.И. и др. Авиационные системы радиоуправления. Т.2. Радиоэлектронные системы самонаведения / Под ред. Канащенкова А.И. и Меркулова В.И. – М.: Радиотехника, 2003.
10. Певцов Г.В., Яцуценко А.Я., Карлов Д.В., Трофименко Ю.В., Теоретичні основи новітніх технологій побудови радіолокаційних систем // Наука і оборона. Науково-теоретичний та науково-практичний журнал. №2. – 2014. – С. 45-53.
11. Певцов Г.В., Яцуценко А.Я., Карлов Д.В., А.І.Резніченко Теоретичні основи побудови автоматичної багатопозиційної радіолокаційної системи виявлення - функціонального ураження радіоелектронних засобів аеродинамічних цілей // Системи обробки інформації. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил, 2009. – Вип. 1(75). – С.8-12.
12. Яцуценко А.Я. Оцінка ефективності функціонування автоматичних РЛС дальнього виявлення на основі апроксимації марківськими неоднорідними ланцюгами з урахуванням радіоелектронних впливів / Збірник наукових праць Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил. – Х.: ОНДІ ЗС, 2005. – Вип. 2(2). – С. 142-152..
13. Певцов Г.В., Яцуценко А.Я. Оцінка ефективності ведення інформаційної боротьби на основі марківської неоднорідної моделі конфліктної взаємодії сторін / Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – вип. №3. – К.: ВІКНУ, 2006. – С.73-81.
14. Певцов Г.В., Яцуценко А.Я., Карлов Д.В., Остапова А.М., Клімішен О.О. Принципи створення пасивної багатопозиційної радіолокаційної просторово рознесеної системи в зоні дії радіолокаційної станції дальнього виявлення / Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил, 2010. – Вип.2(4). – С.91-97.
15. Певцов Г.В., Яцуценко А.Я., Карлов Д.В., Трофименко Ю.В. Метод енергетичного виявлення радіосигналів // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: – 2010. – №4(16). – С.72-76.
16. Патент на корисну модель 57216. Україна, МПК G01S 7/02. /Процес енергетичного виявлення радіосигналів Г.В. Певцов, А.Я. Яцуценко та ін. – №201012202; заявл. 15.10.2010; опубл. 10.02.2011, Бюл. №3.
17. Певцов Г.В., Яцуценко А.Я., Карлов Д.В., Трофименко Ю.В., Клімішен О.О. // Патент на корисну модель 64707. Україна, МПК G01S 7/34. / Спосіб багатоканального за часом енергетичного виявлення радіосигналів; – №201106721; заявл. 30.05.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. №21.
18. Певцов Г.В., Яцуценко А.Я., Карлов Д.В., Трофименко Ю.В., Челпанов А.В., Шевченко В.І. // Патент на корисну модель 64706. Україна, МПК G01S 7/34. / Спосіб енергетичного виявлення радіосигналів при впливі активних маскуючих перешкод; – №201106697; заявл. 30.05.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. №21.
19. Певцов Г.В., Яцуценко А.Я., Карлов Д.В., Трофименко Ю.В., Остапова А.М., Клімішен О.О. // Патент на корисну модель 75125. Україна, МПК G01S 7/34. / Спосіб енергетичного виявлення коротких немодульованих радіосигналів і послідовного оцінювання їх початкових фаз і доплерівських частот; – №2012004731; заявл. 17.04.2012; опубл. 26.11.2012, Бюл. №22.
20. Патент на корисну модель 103676. Україна, МПК (2015.01) G01S 7/34 (2006.01) G01S 13/00. Спосіб послідовного енергетичного виявлення радіосигналів при апріорній невизначеності їх тривалості / Г.В. Певцов, А.Я. Яцуценко та ін. – № 2015 06163; заявл. 22.06.2015; опубл. 25.12.2015, Бюл. №24.
21. Певцов Г.В., Яцуценко А.Я., Карлов Д.В., Пічугін М.Ф., Трофименко Ю.В., Чернявський О.Ю., Борцова М.В. Енергетичне виявлення і оцінювання параметрів тривалого немодульованого радіосигналу в активно-пасивній багатопозиційній радіолокаційній системі та визначення повного вектора швидкості цілі із заданою можливістю точністю / Військово-технічний збірник – Випуск 1(10). – Львів: АСВ, 2014. – С.56-63.
22. Верба В.С., (RU), Гандурин В. А. (RU), Забелин И. В. (RU), Меркулов В. И. (RU), Миляков Д. А. (RU) // патент РФ способ самонаведения летательных аппаратов на гиперзвуковые цели G01C21/00 №2408847 заявл. 2009-12-24, опубл. 10.01.2011.
23. Певцов Г.В., Карлов Д.В., Лукашук Е.В., Кондратенко А.П. Основы построения коммутационной полусферической антенной решетки. Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДАЗТ. – 2014. – Вип. 1. – С. 64-68.

**Рецензент:** д.т.н., проф. Г.В. Худов, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

**Проблемы создания радиолокационного вооружения для ведения боевых действий в условиях применения гиперзвуковых летательных аппаратов**

М.Ф. Пичугин, А.Я. Яцуценко, Д.В. Карлов, Ю.В. Трофименко, И.М. Пичугин, М.В. Борцова, О.Ю. Чернявский

*Рассматриваются основные тактические и технические проблемы построения комплексов обнаружения-обезвреживания гиперзвуковых летательных аппаратов в активно-пассивной многопозиционной РЛС (МП РЛС), оценивание их параметров, оценивание степени опасности обнаруженных объектов при создании системы воздушно-космической защиты от них при использовании доработанных РЛС РТВ, средств ПВО Сухопутных войск, средств ЗРВ и РЭБ, и излагаются основные требования к быстрдействию и степени автоматизации принятия решения.*

**Ключевые слова:** радиолокационное вооружение, обнаружение радиосигналов, гиперзвуковые летательные аппараты, оценивание координат, полный вектор скорости цели, степень опасности.

**Problems of Creation of Radar Armament for Warfare where Hypersonic Aircrafts are Used**

M. Pitchugin, A. Yatsutsenko, D. Karlov, Yu. Trofimenko, I. Pitchugin, M. Bortsova, O. Chernyavsky

*Basic tactic and technical challenges at creation of hypersonic aircrafts detection-disarming complexes in active-passive multipoint radar system, difficulties of estimating parameters and hazard degree of the detected objects at creating space-air defense systems with the usage of improved radar systems of radio-radar troops, of anti-aircraft means of ground troops, of anti-aircraft means of missile troops and electronic warfare means are regarded. General requirements to the rate and level of decision-making automation are discussed.*

**Keywords:** radar armament, radio-signals detection, hypersonic aircrafts, coordinates estimation, complete target velocity vector.

---

УДК 623.465.35

B.O. Seredyuk

National Academy of Land Forces named after Hetman Petro Sakhajdachnyj, Lviv

**ANALYSIS OF ELECTRICAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR CRYSTALS OF InSe TYPE INTERCALATED BY METALS DUE TO THEIR MILITARY APPLICATIONS**

*The applications of magnetoresistance structures based on semiconductor crystals of InSe for high precision measurement of the magnetic field are outlined in this article. Possibilities of using magnetic field sensors based on InSe structures for revealing the armour military vehicles are discussed. The impact of metal impurities on the layered structure of the semiconductor material as referred to the strong covalent bond within the layers as well as the weak van-der-Waals bond in the interlayer space is studied. Nyquist diagrams for In<sub>4</sub>Se<sub>3</sub> crystal with the impurities of chromium, copper and germanium at different temperatures ranging from room temperature to liquid nitrogen are analyzed. The influence of metal impurities and its concentration on the electrical and magnetic properties of semiconductor crystals of the InSe type is discussed.*

**Keywords:** semiconductor, impedance, magnetic field, nanostructures.

**Introduction.** The magnetic field by its nature is very difficult to shield from. Earth due to the rotation around its axis creates a magnetic field (20 – 60) microTesla on its surface. Military armored vehicles consist of dozens of tons of ferromagnetic material which is affected by the Earth's magnetic field creating its own magnetic moment. That leads to the distortion of the magnetic field, which can be detected using magnetoresistive structures.

**Analysis of recent research and publications.** Nowadays sensitive magnetic sensors are used in many technical systems, including modern anti-tank missiles to identify the center of the target area and a minimal armor region. Besides compounds based on magnetoresistive structures are resistant to temperature extremes, and ionizing radiation, so they are promising for use in guidance systems of modern microprocessor warheads [1].