

УДК 332.142.4

П.Є. Трофименко¹, Л.С. Демидко¹, Г.В. Сорокоумов¹, О.П. Остапова²¹ Сумський державний університет, Суми² Філія ЦНДІ озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Суми

ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ СИСТЕМИ САМОНАВЕДЕННЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ВИСОКОТОЧНИХ БОЄПРИПАСІВ

Проведено короткий аналіз типів систем наведення боєприпасів, висвітлені їх основні переваги й недоліки. Розглянуто один із можливих підходів до вибору типу головки самонаведення з урахуванням заданих характеристик основних типів об'єктів ураження. Надані рекомендації щодо вибору доцільного варіанта оснащення головки самонаведення боєприпасів на підставі урахування можливостей створюваної системи спеціального інформаційного забезпечення вітчизняного ВПК.

Ключові слова: система наведення боєприпасів, головка самонаведення, типові об'єкти ураження.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасний розвиток військової техніки і прийняття на озброєння артилерійських боєприпасів (снарядів і мін) високої точності у сухопутних військах провідних у військовому відношенні країн світу показує, що основним завданням такого класу зброї продовжує залишатись вогневе ураження найбільш важливих об'єктів противника шляхом нанесення одиночних і групових ударів по площадних (групових) та окремих цілях.

Тому проблема подальшого удосконалення високоточної зброї загалом, а систем наведення її на ціль (об'єкт) зокрема, є на сьогодні вкрай актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням розробки і удосконалення систем наведення високоточних боєприпасів на ціль приділялась увага в багатьох роботах, зокрема [1–3].

Так, у роботі [1] значну увагу надано питанням наведення і навігації балістичних ракет, у [2] – випробуванням головок самонаведення, а у [3] – можливостям виявлення наземних цілей головками самонаведення в міліметровому діапазоні.

Разом з тим у проаналізованих роботах недостатньо уваги було приділено системам самонаведення, а саме методам їх вибору.

Тому **метою статті** є аналіз типів систем наведення боєприпасів, визначення доцільного підходу до вибору типу головки самонаведення і надання рекомендацій щодо оснащення головкою самонаведення різних типів боєприпасів з урахуванням можливостей створення системи спеціального інформаційного забезпечення.

Основний матеріал

Для визначення типу системи самонаведення високоточних боєприпасів (ВТБ) необхідно провести аналіз можливих об'єктів (цілей) ураження.

Вивчення та аналіз робіт [1–3] показує, що основними об'єктами ураження можуть бути:

- пункти управління усіх ланок;
- вузли зв'язку частин, з'єднань, об'єднань;
- центри управління ППО та комплекси ППО на вогневих позиціях;
- пускові установки ракетних комплексів у позиційних районах і на стартових позиціях;
- елементи РУК та РВК;
- артилерійські (мінометні) батареї на вогневих позиціях;
- РЛС і засоби РЕБ;
- механізовані і танкові підрозділи у районах зосередження і на марші;
- польові (пересувні) пункти постачання (забезпечення) боєприпасами, паливно-мастильними матеріалами й іншими матеріальними засобами;
- інженерні споруди (мости, будівлі, дамби, польові фортифікаційні споруди тощо);
- об'єкти інфраструктури державного управління та промисловості.

Наведені вище об'єкти ураження можна класифікувати за основними ознаками (рис. 1).

Для ураження вказаних цілей можуть застосовуватися різні типи боєприпасів. Вибір типу боєприпаса при здійсненні вогневого ураження цілі залежить від багатьох факторів, основними з яких можна вважати: ступінь її стаціонарності (рухома або стаціонарна у просторі та/або у часі), ступені захищеності і стійкості та розподіленості у просторі (одиночна або групова), геометричні розміри тощо.

Необхідно відмітити той факт, що стрільба боєприпасами з касетним спорядженням по групових цілях, з точки зору точності наведення, на даний час технічних проблем не викликає, оскільки існуючі інерціальні системи управління забезпечують необхідну точність виведення боєприпаса у район розкриття бойової частини і викиду касетних бойових елементів. Разом з тим стрільба по окремих високо-

захищених цілях, як правило, потребує використання бойових частин потужної дії в режимі дистанційного або контактного підриву чи проникаючої дії. В цьому випадку при стрільбі на великі дальності інерціальна система управління, навіть з корекцією за сигналами супутникових навігаційних систем

(СНС), не може забезпечити необхідну точність наведення на ціль, що значно знижує ефективність вогневого ураження. Саме це є основною причиною, що обумовлює необхідність застосування систем самонаведення при використанні моноблочних бойових частин.

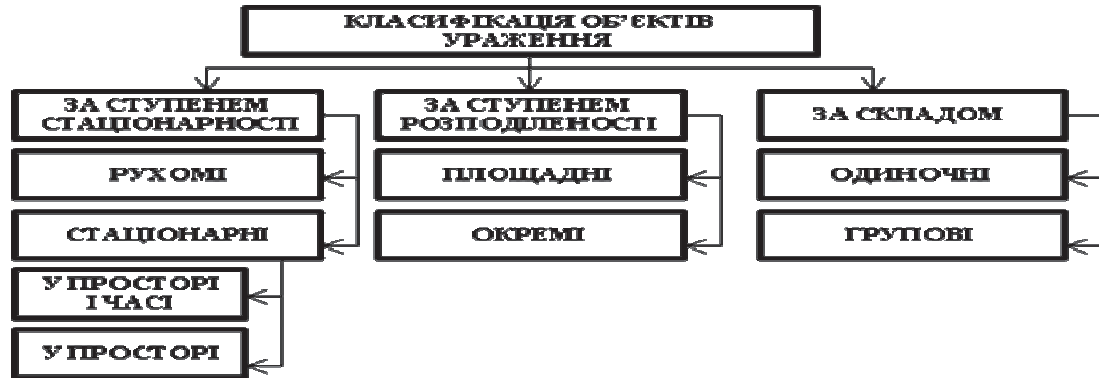


Рис. 1. Класифікація об'єктів ураження за основними ознаками

Відомо, що за принципами дії системи самонаведення умовно поділяють на три типи та їх комбінації, а саме [1]:

перший тип – радіонавігаційні, тобто ті системи, що працюють за сигналами супутникової навігації;

другий тип – системи прямого наведення, тобто ті, що постійно уточнюють координати спостережної цілі відносно власної системи координат за допомогою лінії візування цілі;

третій тип – кореляційно-екстремальні, тобто ті, що формують сигнали управління порівнюючи зображення місцевості, на якій розташована ціль, сформоване датчиком, з еталонним зображенням, введеним безпосередньо перед стрільбою (пуском) до обчислювальної системи головки самонаведення.

Останні два типи систем самонаведення можна класифікувати за типом фізичного поля цілі, яке використовується головкою самонаведення.

Використання радіонавігаційних систем в якості основної системи наведення недоцільне виходячи з міркувань відсутності на даний час вітчизняної СНС. Разом з тим слід акцентувати увагу на тому, що така система на сьогодні має найменшу вартість та найпростішу технічну реалізацію у порівнянні з іншими типами систем самонаведення. Таку систему доцільно розглядати в контексті допоміжної корегуючої підсистеми в інерціальній системі управління.

Таким чином, для оснащення боєприпасів з моноблочною бойовою частиною найбільший інтерес становлять головки самонаведення другого і третього типів, тобто системи прямого наведення та кореляційно-екстремальні, що використовують різні фі-

зичні поля, які випромінюються чи відбиваються об'єктом (ціллю) або ділянкою місцевості на якій вони розташовані.

Для обґрунтування рішення про застосування тієї чи іншої системи самонаведення розглянемо їх основні переваги, недоліки та можливі ризики, що можуть виникнути при реалізації вказаних систем з урахуванням науково-технічних і технологічних можливостей підприємств вітчизняного ВПК.

Отже з метою ефективного наведення (тобто пошуку, ідентифікації, захвату об'єкта (цілі)) як для систем прямого наведення, так і для кореляційно-екстремальних, у першу чергу, необхідна система спеціального інформаційного забезпечення [4]. У загальному вигляді вона повинна містити:

- банк даних еталонних зображень всього переліку можливих об'єктів (цілей) та фоноцільової обстановки;

- експертні системи первинної обробки отриманих зображень, підготовки еталонних зображень ділянок місцевості, на яких розташовані об'єкти (цілі), або самих цілей та оцінки їх якості;

- експертні системи оцінки потенційної ефективності стрільби (пусків) у конкретній фоноцільовій і геофізичній обстановці.

Наразі існують три основні методи отримання фоноцільової інформації (ФЦІ): математичне моделювання, фізичне (масштабне) моделювання, натурні вимірювання та відповідні їм технічні засоби у вигляді моделюючих і вимірювальних комплексів [5].

Проаналізуємо ці методи. Так, математичне моделювання відбивно-випромінювальних характеристик використовує теоретичні закони оптики, еле-

ктро- і термодинаміки. Воно найбільш економічно доступне, гнучке для «налаштування» на різні умови спостереження і геофізичні чинники. Водночас, цей метод не може забезпечити достатню точність розрахунків через систематичні погрішності й обмеження, властиві будь-якому математичному моделюванню складних природних процесів і явищ.

Стосовно математичного моделювання необхідно зазначити, що воно містить, як правило програмні комплекси для розрахунку енергетичних полів відбиття або випромінювання об'єктів і тривимірних сцен, результатів перенесення випромінювання в атмосфері та його проектування на площину спостереження, заводої обстановки. Розрахунки проводяться при спостереженнях у видимому, інфрачервоному, радіолокаційному діапазонах. У той же час якість спостереження суттєво залежить від умов освітленості, рельєфу і геометричної форми об'єктів.

Фізичне або масштабне моделювання характеристик фоноцільової інформації (ФЦІ) припускає проведення вимірювань у контрольованих умовах безехових камер, випробувальних басейнів, лабораторних стендів з використанням моделей реальних об'єктів ФЦІ при відповідному масштабуванні довжин хвиль електромагнітного спектру. Метод дає можливість детально вивчити параметричну мінливість характеристик об'єкта (цілі) і набрати статистику вимірювань. Він незамінний при перевірці адекватності теоретичних моделей. Разом з тим метод обмежений у можливості відтворення широкого діапазону параметрів та умов спостереження.

Найбільшу точність і достовірність серед методів отримання фоноцільової інформації, а також при відпрацюванні технологій її використання у ГСН забезпечують натурні вимірювання в умовах, максимально наближених до реальних. З цією метою може використовуватися різноманітний набір вимірювальних засобів, включаючи полігонні, авіаційні, космічні комплекси [2].

Проведення натурних вимірювань призводить до необхідності розв'язання такого важливого питання, як обґрунтування і вибір об'єктів – аналогів цілей противника і підстиляючих фонів через обмеження по доступності прямих вимірювань їх характеристик. Вибір об'єктів – аналогів повинен бути заснований на використанні принципу локальних спектрально-тимчасових подібностей відбивних і випромінювальних характеристик різних об'єктів.

Саме наявність або можливість технічної реалізації системи спеціального інформаційного забезпечення та досягнутого ступеня якості її функціонування є ключовим фактором для обґрунтування типу головки самонаведення при створенні високоточних боєприпасів (або їх головних частин).

Аналіз розвитку аналогічних систем у найбільш розвинених у воєнному відношенні країнах показує, що найбільш поширеною системою прямого наведення на даний час є активно-пасивна радіолокаційна головка самонаведення сантиметрового та міліметрового діапазонів, а серед кореляційно-екстремальних – оптична. На разі інтенсивно ведуться роботи з розробки комбінованих систем, що комплексують у собі канали наведення з використанням й інших фізичних полів цілі.

Саме активно-пасивна радіолокаційна головка самонаведення сантиметрового та міліметрового діапазонів має такі переваги, як всепогодність і можливість застосування у будь-який час доби та пори року [3].

Разом з тим, розробка каналів прямого наведення на ціль пов'язана зі значними труднощами, що викликані індивідуальними особливостями цілей, траєкторіями польоту боєприпасів, умовами їх застосування і зокрема заводою обстановкою. Складність розпізнавання цілей у режимі прямого наведення – основний фактор, що визначає складність програмно-алгоритмічного забезпечення високоточного наведення та його технічної реалізації.

Перш за все, це обумовлено тим, що при реалізації ГСН прямого наведення необхідно ідентифікувати окремий спостерігаємий об'єкт в якості об'єкта ураження. У такому випадку в якості заданого еталонного зображення (або образу) виступає зображення заданого об'єкта ураження, а в якості поточного зображення – його істинне зображення на фоні підстиляючої поверхні та інших об'єктів. Задача ускладнюється тим, що об'єкт спостереження спочатку необхідно знайти, ідентифікувати (розпізнати) і тільки потім вирішувати задачу прицілювання, що забезпечить зустріч боєприпаса (або його головної частини) з ціллю.

Для цього крім ГСН, здатної надати прийнятний за якістю образ спостерігаємої цілі, необхідно мати банк еталонних зображень (образів) імовірних цілей. Так, наприклад, за даними фахівців фірми Grumman (США), яка розробила систему OMFIC, що являє собою корелятор зображень з погодженим фільтром для розпізнавання танка М-60 з імовірністю не менше 0,98 при прийнятному рівні хибних тривог (0,014), довелося створити 23 види його еталонних зображень з різних ракурсів. Тому створення такого інформаційного банку потребує значних часових, ресурсних і фінансових затрат.

Таким чином, основними проблемами, які доводиться вирішувати при створенні АРГСН, є [3]:

- забезпечення максимальних відстаней виявлення цілей;
- забезпечення високої перешкодозахищеності;

– забезпечення високої точності наведення боеприпасів на перспективні цілі (тобто ті, що не мають достовірного еталонного образу);

– виконання вимог з мінімізації масогабаритних характеристик;

– мінімізація вартості АРГСН.

Проведемо аналіз цих проблем. Так, максимальну дальність виявлення цілей та перешкодозахищеність у сучасних АРГСН забезпечує ряд нових схемотехнічних та конструкторсько-технологічних рішень, зокрема:

– використання в якості зонduючого сигналу когерентних імпульсних послідовностей з високими частотами повторення імпульсів;

– застосування в якості антени АРГСН плоских хвилевидно-щілистих, фазованих або цифрових антенних решіток із розміщенням на антені багатоканальних приймальних НВЧ-модулів, що забезпечує максимальне (при відповідному діаметрі апертури) значення коефіцієнта посилення антени та дозволяє звести до мінімуму втрати під час прийому сигналів;

– використання у прийальному пристрої малощумних твердотільних НВЧ-підсилювачів та малощумуючих НВЧ-змішувачів, які дозволяють реалізувати коефіцієнт шуму приймальних каналів (спільно із пристроєм захисту) менше 5 Дб за будь-яких умов;

– застосування цифрових сигнальних процесорів для вузькосмугової фільтрації сигналів цілей та перешкод з реалізацією адаптивних алгоритмів виявлення та супроводу сигналу цілі у складних завадових ситуаціях та зменшення втрат на виявлення сигналу;

– використання в якості вихідного підсилювача радіопередавального пристрою електровакуумного або твердотільного НВЧ-підсилювача, що дозволяє створити малогабаритний передавальний пристрій із середньою вихідною потужністю у сотні Ватт на апертурі антени.

Досягнення необхідної точності наведення у значній мірі визначається стабілізацією антени АРГСН у просторі та особливостями проходження сигналу через систему «антена-обтічник».

Для збільшення точності наведення боеприпаса на ціль та підвищення перешкодозахищеності разом з АРГСН доцільно розглянути комбіновані та мультідиапазонні ГСН.

Кореляційно-екстремальні системи наведення (КЕСН) зарекомендували себе як надійні, достатньо точні та продуктивні, що підтверджується широким їх застосуванням у системах наведення сучасних ракет та головних частин ракет [4].

Поточне і еталонне зображення будується на основі спостереження природних і штучних фізичних полів, у ряді випадків базою для їх створення

можуть служити географічні (топографічні) карти. В якості фізичних полів можуть бути використані оптичне, радіолокаційне, радіотеплове, магнітне, гравітаційне й інші поля.

Основою класифікації кореляційно-екстремальних систем наведення є характер корисної інформації, що знімається з поля у кожний момент часу. Відповідно до цієї класифікації КЕСН підрозділяються на три типи. КЕСН-I – системи з точковим зондуванням, вони можуть використовувати як поверхневі поля (наприклад, поле рельєфу оптичного або радіолокаційного контрасту), так і просторові (аномальні магнітні, гравітаційні). КЕСН-II і КЕСН-III – це відповідно системи, що знімають інформацію з вузької ділянки (строки), розташованої нормально до проекції траєкторії на площину спостереження, і з кадру, тобто з ділянки площини спостереження. В КЕСН-III поточне зображення одержують при русі об'єкта управління. При цьому повинна бути використана багатоканальна (для формування строки) система спостереження або перетворювач поля, що сканує по площині спостереження (тобто двовимірне зображення поверхні землі може бути отримано без руху об'єкта управління за рахунок використання, наприклад, матричного приймального датчика).

Найбільш застосовуваними на даний час є КЕСН з оптичними ГСН. Це, в першу чергу, пов'язано з їх відносно простою технічною реалізацією, високою стійкістю до існуючих засобів радіоелектронної протидії та меншою вартістю у порівнянні з КЕСН, що використовують інші фізичні поля та системами прямого наведення.

Для систем самонаведення по оптичному зображенню місцевості еталонною картою може бути оптичний розвідувальний знімок, на якому ціль визначається практично без похибок відносно елементів навколишнього ландшафту. В силу цього ГСН, що орієнтується по елементах ландшафту, наводиться саме у визначену точку незалежно від того, з якою точністю визначені географічні координати цілі.

Разом з тим, основним недоліком такої системи є неможливість її застосування у складних погодних умовах (інтенсивний дощ, сніг, туман, низька хмарність тощо.) та зменшення ефективності наведення по ділянці місцевості, що має малу оптичну (радіолокаційну) контрастність.

Таким чином, при виборі вказаної ГСН для оснащення боеприпасів система спеціального інформаційного забезпечення повинна створити набір еталонних зображень по фотознімку (космічному або авіаційному) ділянки місцевості, що оточує об'єкт ураження з роздільною здатністю не гірше 1–3 м у реальному чи близькому до реального масшта-

бі часу. Окрім того мінімальний набір вхідної інформації повинен включати (містити):

- топографічні (цифрові) карти місцевості району цілі для оцінки геометричних викривлень оптичних зображень з причини неоднорідності рельєфу;
- дані про інтенсивність та висоту нижньої границі хмарності в районі цілі у момент стрільби (пусків) для апіорної оцінки імовірності виконання заданих точностних характеристик;
- детальна інформація про об'єкт (ціль) ураження для оптимального вибору точок прицілювання та кількості боеприпасів, що забезпечать заданий ступінь ураження об'єкта (цілі).

Вказане вище визначає також і вимоги до алгоритмів порівняння зображень через обмеження, що виникають внаслідок неідеальних умов стрільби (пусків) і перешкод [5]. У цьому сенсі однією з найважливіших задач є приведення поточних і еталонних зображень до максимально прийнятного виду для їх порівняння. Додаткова обробка зображень з використанням оптимальної калмановської фільтра-

ції часових процесів, а також інших методів оптимальної фільтрації просторових та просторово-часових сигналів на даний час дозволяє достатньо коректно синтезувати кореляційно-екстремальні алгоритми роботи таких систем і, відповідно, значно знизити імовірність виникнення помилок при наведенні.

Ще одним засобом додаткової обробки оптичних зображень є застосування перетворення Собеля. Так, наприклад, результати моделювання на інформаційно-моделюючому комплексі, розробленому підприємством Текон-Електрон, показують, що при застосуванні перетворення Собеля при обробці поточних зображень, отриманих з оптичної системи ГСН_ї порівнянні їх з еталонним зображенням, екстремум кореляційної (критеріальної) функції збільшується у середньому в 3,5...5 разів.

Так, на рис. 2 показано поточне зображення ділянки місцевості з висоти 5 км та відповідна критеріальна функція при порівнянні його з еталонним без застосування перетворення Собеля.

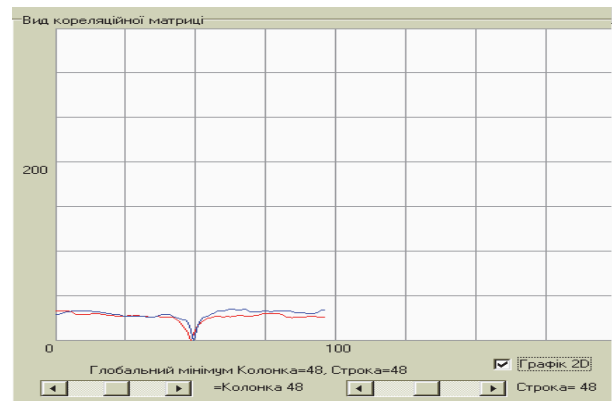


Рис. 2. Поточне зображення та вид критеріальної функції без перетворення Собеля

На рис. 3 показано те ж саме зображення та відповідна критеріальна функція при порівнянні його з еталонним із застосуванням перетворення Собеля. Це дає змогу з достатньо великою імовірністю іден-

тифікувати оптичне зображення ділянки, на якій розташована ціль, навіть при дуже малій контрастності, наприклад у лісі на рівнинній місцевості або степовій чи пустельній місцевості.

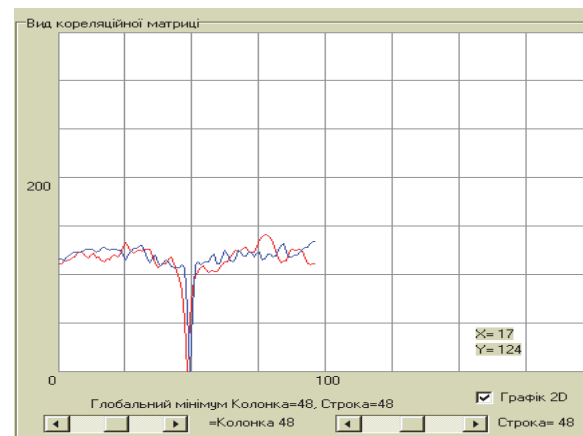


Рис. 3. Поточне зображення та вид критеріальної функції із застосуванням перетворення Собеля

Висновки

Таким чином, враховуючи типи основних об'єктів (цілей) ураження для перспективних боеприпасів, можливості створення системи спеціального інформаційного забезпечення, можливості вітчизняного ОПК, існуючі теоретичні та технологічні здобутки, найбільш доцільним, на наш погляд, для оснащення боеприпасів головкою самонаведення є розгляд двох її варіантів, а саме:

– основний варіант – створення комбінованої радіолокаційної міліметрового діапазону та оптичної кореляційно-екстремальної системи наведення, яка завдяки радіолокаційному каналу дасть можливість застосування боеприпасів за будь-яких погодних умов, а з використанням оптичного каналу – можливість ефективної роботи в умовах інтенсивної радіоелектронної протидії та підвищення точності наведення боеприпасів;

– спрощений варіант – створення оптичної кореляційно-екстремальної системи наведення першого типу, яка для підвищення ефективності роботи у складних погодних умовах та на ділянках з низькою контрастністю може бути дводіапазонною (наприклад, у видимому та ближньому інфрачервоному спектрі).

Список літератури

1. Лысенко Л.Н. Наведение и навигация баллистических ракет / Л.Н. Лысенко. – М.: МГТУ им. Баумана, 2007. – 672 с.
2. Либерман В.В. Лётные испытания радиолокационной головки самонаведения / В.В. Либерман, Г.Л. Копытов, А.Е. Красновпезцев // Вопросы оборонной техники. – 1989. – Серия 12., Вып. 3(48). – С. 35-38.
3. Оценка возможностей обнаружения наземных целей радиолокационной головкой самонаведения миллиметрового диапазона / В.И. Бабичев, В.В. Либерман, Г.Л. Копытов, А.Е. Красновпезцев // Вопросы оборонной техники. – 1989. – Серия 12., Вып. 2(47). – С. 13-16.
4. Щербинин В.В. Построение инвариантных корреляционно-экстремальных систем навигации и наведения летательных аппаратов / В.В. Щербинин. – М.: МГТУ им. Баумана, 2011. – 230 с.
5. Елесина С.И. Алгоритмы совмещения радиолокационных изображений в корреляционно-экстремальных системах реального времени / С.И. Елесина // Автореферат диссертации. – Рязань: Рязанский государственный университет. – 2011. – 16 с.

Надійшла до редколегії 4.01.2017

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук проф. А.М. Черноус, Сумський державний університет, Суми.

ПОДХОДЫ К ПОРЯДКУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА СИСТЕМЫ САМОНАВЕДЕНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЫСОКОТОЧНЫХ БОЕПРИПАСОВ

П.Е. Трофименко, Л.С. Демидко, Г.В. Сорокоумов, О.П. Остапова

Осуществлен краткий анализ типов систем наведения боеприпасов, освещены их основные преимущества и недостатки. Приведен один из возможных подходов к выбору типа головки самонаведения с учетом заданных основных типовых объектов поражения. Даны рекомендации относительно наиболее целесообразного варианта оснащения головкой самонаведения боеприпасов с учетом возможностей создания системы специального информационного обеспечения, отечественного ВПК.

Ключевые слова: система наведения боеприпасов, головка самонаведения, типовые объекты поражения.

APPROACHES TO ORDER SYSTEM TYPE DEFINITION HOMING TO PROMISING HIGH-PRECISION PROJECTILES

P. Trofimenko, L. Demidko, G. Sorokoumov, O. Ostapova

Carried out a brief analysis of the types of guidance systems ammunition, their main advantages and disadvantages. Shows one possible approach to the choice of a homing head given the basic standard object destruction. Recommendations on the most suitable option of equipping the homing head ammunition, taking into account the possibilities of establishing a special system of information provision.

Keywords: guidance system of ammunition, homing projectiles, model objects hitting.