

УДК 681.375

О.В. Коломійцев, С.І. Клівець, С.П. Коваленко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПРОПОЗИЦІЇ ПО РОЗРАХУНКУ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ІНФРАЧЕРВОНОЇ ГСН РАКЕТИ ЗАСОБІВ ППО СВ

Розкрито можливість підвищення чутливості приймача оптичної системи головки самонаведення (ГСН) ракети, на необхідному діапазоні інфрачервоного спектру довжини хвилі, за рахунок збільшення числа фото-чутливих елементів в приймачі випромінювання, та зменшення чутливості приймача на шкідливих частинах інфрачервоного спектру випромінювання за допомогою фільтрів. Обґрунтовано необхідність введення в склад приймальних оптичних систем спеціалізованих міні електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) для забезпечення високого рівня автоматизації. Наведено шляхи покращення габаритних і вартісних характеристики приймального пристрою оптичної системи, спрощення конструкції ГСН. Приведено аналітичні рішення та графіки залежності фокусної відстані оптичної системи від необхідної робочої дальності інфрачервоної ГСН ракети і розміру чутливої площадки приймача.

Ключові слова: головка самонаведення ракети, інфрачервоне випромінювання, ціль.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасний високий рівень розвитку оптичних систем і використання інфрачервоного випромінювання відкриває широкі можливості для вирішення завдань якісного захвату та супроводження вибраної цілі системою ГСН ракети. Такі можливості обумовлені, в першу чергу, використанням в системах ГСН інфрачервоного джерела випромінювання, що володіють великою несучою частотою і спектральною яскравістю, монохроматичністю, просторовою та часовою когерентністю.

При цьому, якщо врахувати той факт, що існуючі ГСН [1] не забезпечують необхідний рівень автоматизації, то не можливо розмовляти про обробку великих об'ємів інформації, яка необхідна при використанні багатоелементних приймачів випромінювання оптичної системи.

Аналіз останніх публікацій. Аналіз публікацій по існуючим зразкам ГСН (оптичної системи, формі, структурі і тощо) показує, що недоліками [1] є низький рівень автоматизації, слабка точність розпізнавання і вимірювання похилої дальності на великій відстані до цілі (об'єкта) та неоперативність супроводження цілі, яка швидко маневрує.

Метою статті є представлення результатів розробки наукових пропозицій щодо забезпечення необхідної дальності виявлення цілей і їх розпізнавання оптичною системою інфрачервоних ГСН ракет комплексів військ ППО СВ.

Виклад основного матеріалу

Розповсюдження хвиль в атмосфері залежить в основному від щільності повітря, температури та атмосферного тиску в різних її шарах. Необхідно відмітити, що при зміні температури випромінюваної поверхні повітряної цілі, допустимо на 100°C , довжина хвилі, яка відповідає найбільшій спектра-

льної інтенсивності щільності променевого потоку відрізняється від розрахованої на 15%. При чому, ця зміна λ_m викликає зменшення $\tau_{\text{вдлн}}(\lambda, T)$ і значення функції $Z(\lambda/\lambda_m)$, а відповідно і щільність променевого потоку, який приймається приймальним пристроєм системи ГСН ракети (F_i). При зниженні температури оточуючого середовища (повітря) і відносній вологості повітря, допустимо на 20% збільшиться спектральні коефіцієнти пропускання випромінюваної енергії через пари води в залежності від кількості осадженої води. При стрільбі по мало-висотним цілям спектральні коефіцієнти пропускання енергії, що випромінюється, пропускатимуть в основному через суміш вуглекислого газу, тому пропускання значно знижуватиметься, особливо в лініях поглинання, так якщо товщина слою атмосфери зміниться з 3,6 км до 0,5 км, а $\tau_{\text{вуч}}$ збільшиться з 0,1 до 0,57 [1].

З урахуванням затухань розповсюдження хвиль в атмосфері (τ_a), максимальна дальність дії ГСН дорівнюватиме

$$D_{\text{max}} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\tau_a \cdot S_{\text{об}} \cdot \varepsilon \cdot S \cdot \cos \alpha \cdot \cos \phi}{\pi \cdot m \cdot F_{\text{пор}}} \times \\ \times K \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \left[Z\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_m}\right) - Z\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_m}\right) \right]^2 \end{array} \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де m – коефіцієнт більше одиниці, параметр виявлення дорівнює 5;

$F_{\text{пор}}$ – порогове значення потоку виявлення;

$S_{\text{об}}$ – площа вхідного обтікача ГСН ракети;

σ – постійна Стефана-Больцмана, яка дорівнює $5,673 \cdot 10^{-12}$ Вт/см²К⁴;

T – температура повітря, в градусах К;

K – коефіцієнт розповсюдження хвиль в повітрі;

S – площа випромінюючої поверхні цілі;

α – кут між нормаллю до випромінюючої площини цілі і центром оптичної системи;

φ – кут між нормаллю оптичної системи і напрямком на ціль;

D – імовірність виявлення цілі, яка дорівнює 0,5.

$Z(\frac{\lambda}{\lambda_m})$ – функція визначення променистого потоку, який приймає ГСН.

Основний вклад в значення коефіцієнта пропускання атмосфери τ_a вносить метеорологічна дальність видимості d . Якщо стрільба проводиться в умовах слабкої димки ($d \approx 15$ км), то коефіцієнт пропускання розсіюючого шару $\tau_{р\lambda}$ знижується десь на 46 %, після чого τ_a знижується десь у 2 рази. При даних умовах отримуємо зменшення площини випромінювання S і коефіцієнту K , і можливо очікувати, що величина променистого потоку також зменшиться у 2 рази. Знижуючи температуру чутливого елемента інфрачервоної ГСН ракети (охолодженням за допомогою, наприклад, азоту) можна зменшити пороговий потік виявлення $F_{пор}$, але використовуючи її в реальних умовах, рівень фону не зменшить, а навіть збільшить максимальну дальність виявлення цілей оптичною системою інфрачервоної ГСН.

Проведемо аналіз можливостей оптико-електронної системи інфрачервоної ГСН маючи на увазі забезпечення її дальності виявлення і розпізнавання цілей (об'єктів). При цьому будемо мати на увазі, що для виявлення цілей її проекція повинна займати в фокальній площині один-два елемента розподілу, а для розпізнавання не менше восьми елементів мозаїчної площадки приймача променистої енергії [2].

Вираз для дальності, на якій працюватиме оптико-електронна система інфрачервоної ГСН ракети, матиме вигляд

$$D_{роб} = \frac{X_{ц} \cdot f \cdot N}{X_n \cdot n}, \quad (2)$$

де X_n – розмір чутливої площадки приймача;

f – фокусна відстань оптичної системи;

$X_{ц}$ – розмір цілі в полі зору системи;

N – загальне число елементів приймача;

n – число елементів приймача, яке займає проекцію цілі.

Виходячи з формули (2) можливо припустити, що при n яке дорівнює 1 – 2 елемента відповідатиме тільки необхідній дальності виявлення, а якщо збільшити n до значень приблизно 8 – 10 елементів – відповідатиме дальності розпізнавання ГСН ракети.

Згідно з цим виразом можуть бути розраховані та побудовані залежності дальностей виявлення цілі і розпізнавання від кутового розміщення дифракційної обмеженої оптичної системи, узгодженої з розміром елемента розміру вхідного зображення.

Розмір крапки розсіювання, яке створюється дифракційно обмеженою оптичною системою на великих дальностях, відповідає розміру проекції цілі

(об'єкту) в фокальній площині системи виявлення на таких дальностях [3].

Збільшення дальності виявлення і розпізнавання пасивної системи можливо було б при зменшенні геометричного розміру чутливого елемента мозаїчної площадки з одночасним використанням більш короткохвильового діапазону електромагнітного спектру. Однак у цьому випадку слід мати на увазі, що електричний сигнал з твердотільних мозаїчних площадок приймачів визначається квантовим виходом фото чутливого шару приймача, тобто, потенційним рельєфом, який утворюється під дією світлового потоку на поверхні елементів датчика.

Треба визначити, що квантовий вихід існуючих парів розподілений по електромагнітному спектру випромінювання таким чином, що його максимум приходить на червону і інфрачервону частину спектру сигналу.

Тому при оцінці дальностей виявлення і розпізнавання цілей необхідно врахувати, що усі переваги які дає збільшення здатності виявлення і розпізнавання при зменшенні робочої довжини хвилі, може бути зведена на нуль зниженням параметру чутливого шару приймача, як квантовий вихід в цьому діапазоні електромагнітного спектру.

Узгодження параметрів приймача з «коротким» діапазоном довжин хвиль електромагнітного спектру, як слідує з ряду іноземних джерел, є самостійна технічна і технологічна задача, рішення якої потребує розробки нових світлочутливих матеріалів.

Значення фокусної відстані оптичної системи ми беремо з формули (2) робочої дальності інфрачервоної ГСН ракети з якої методом нескладних математичних перетворень отримаємо формулу розрахунку фокусної відстані ГСН ракети

$$f = \frac{D_{роб} \cdot X_n \cdot n}{X_{ц} \cdot N}. \quad (3)$$

Проведемо розрахунки фокусної відстані оптичної системи ракети, яка б задовольняла наші вимоги.

По даним результатам переходимо до побудови графіку залежності фокусної відстані оптичної системи від необхідної робочої дальності інфрачервоної ГСН.

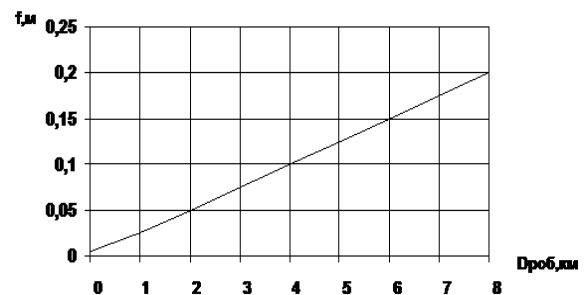


Рис. 1. Графік залежності фокусної відстані інфрачервоної ГСН ракети від необхідної робочої дальності $D_{роб}$

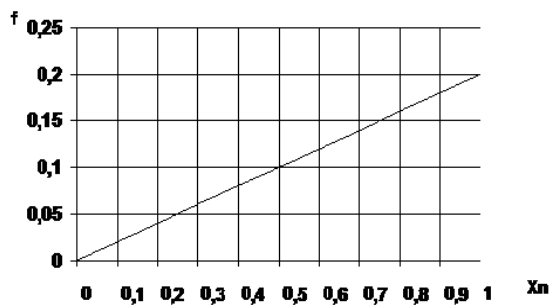


Рис. 2. Графік залежності фокусної відстані оптичної системи інфрачервоної ГСН ракети від розміру чутливої площадки приймача (X_p)

Зробивши розрахунки, отримали оптимальну фокусну відстань інфрачервоної ГСН ракети в 20 см при дальності розпізнавання в 8 км.

Висновки

Таким чином, проаналізувавши проведені розрахунки можливо конституювати наступне.

1. Існуючі в наш час технології дозволяють апаратно та алгоритмічно (програмно) реалізувати удосконалення інфрачервоної ГСН ракети шляхом застосування (фото-приймальної матриці) ФПМ зі сплаву CdHgTe. Аналіз показує, що суттєво підвищити чутливість приймача, на необхідному діапазоні інфрачервоного спектру довжини хвилі, оптичної системі, можливо за рахунок збільшення числа фото-чутливих елементів в приймачі випромінювання, та зменшити чутливість приймача на шкідливих частинах інфрачервоного спектру випромінювання за допомогою фільтрів. Фільтри будуть відсіювати ту частину інфрачервоного спектру, яка заважає якісному захвату та супроводження вибраної цілі.

В цьому випадку зменшується смуга частот, в якій детектується шум, та достатньо забезпечується високі порогові характеристики приймальної оптичної системи в тих частинах смуги інфрачервоного спектру, в якій необхідно приймати сигнали від цілей.

2. Особливістю інфрачервоної ГСН ракети на ФПМ є більш висока робоча температура приймачів випромінювання. Підвищення робочої температури дозволяє суттєво покращити габаритні і вартісні характеристики приймального пристрою, спростити конструкцію та полегшити умови її експлуатації.

3. Модульний принцип побудови систем другого покоління і високий рівень автоматизації можуть бути забезпечені тільки при включенні в склад приймальних систем спеціалізованих міні електронно-обчислювальних машин (ЕОМ). Без використання обчислювальних систем технічно не можливо здійснити такий великий об'єм обробки інформації, який виникає при використанні багатоелементних приймачів випромінювання.

Список літератури

1. Бескровный А.М., Харченко А.С. Миронюк В.В. Устройство средств радиолокационной разведки. Ч. 2. – К.: КВЗРИОЛКУ им. Кирова., 1987. – 145 с.
2. Справочник офицера войск противоздушной обороны. – М.: Воениздат, 1984. – 300 с.
3. Пособие по изучению Правил стрельбы на зенитных ракетных комплексах войсковой ПВО. МО СССР. Ч. 7. – 1989. – 264 с.

Надійшла до редколегії 01.06.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИНФРАКРАСНОЙ ГСН РАКЕТЫ СРЕДСТВ ПВО СВ

А.В. Коломийцев, С.И. Кливец, С.П. Коваленко

Раскрыта возможность повышения чувствительности приемника оптической системы головки самонаведения (ГСН) ракеты, на необходимом диапазоне инфракрасного спектра длины волны, за счет увеличения числа фото чувствительных элементов в приемнике излучения, и уменьшения чувствительности приемника на вредных частях инфракрасного спектра излучения с помощью фильтров. Обоснована необходимость введения в состав приемных оптических систем специализированных мини электронно-вычислительных машин для обеспечения высокого уровня автоматизации. Приведены пути улучшения габаритных и стоимостных характеристик приемного устройства оптической системы, упрощения конструкции ГСН. Приведены аналитические решения и графики зависимости фокусного расстояния оптической системы от необходимой рабочей дальности инфракрасной ГСН ракеты и размера чувствительной площади приемника.

Ключевые слова: головка самонаведения ракеты, инфракрасное излучение, цель.

SUGGESTION UPON SETTLEMENT OF FOCAL DISTANCE OPTICAL SYSTEM OF INFROKRASNOY GSN ROCKETS OF FACILITIES AAD SV

A.V. Kolomytsev, S.I. Klivets, S.P. Kovalenko

Possibility of increase of sensitiveness of receiver of the optical system of head of self-homing (HSH) of rocket is exposed, on the necessary range of infra-red spectrum of wave-length, due to the increase of number the photo of sensible elements in the receiver of radiation, and diminishing of sensitiveness of receiver on harmful parts of infra-red spectrum of radiation by filters. The necessity of introduction is grounded in the complement of the receiving optical systems specialized mini electronic computer machines for providing high level of automation. The ways of improvement of overall and cost descriptions of receiving device of the optical system, simplifications of construction of HSH, are resulted. Analytical decisions and graphs of dependence of focal distance of the optical system are resulted from necessary working distance of the infra-red HSH rocket and size of sensible area of receiver.

Keywords: head of self-homing of rocket, infra-red radiation, purpose