

# Літальні апарати: аеродинаміка, силові установки, обладнання та озброєння

УДК 629.7.054

В.Г. Башинський, Д.Г. Васильєв, Ю.О. Камак

*Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, Феодосія*

## РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ СТУПЕНЮ ЗАХИЩЕНОСТІ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМ ВИКИДУ ХИБНИХ ТЕПЛОВИХ ЦІЛЕЙ

*Розглянуто системи оптико-електронної протидії, що використовують хибні теплові цілі, які забезпечують зрив інфрачервоних систем наведення за рахунок відведення за собою атакуючих керованих засобів ураження. Проведено аналіз залежностей потрібної кількості інфрачервоних патронів та часу знаходження хибних теплових цілей у полі зору інфрачервоної системи наведення від дальності до ракети, що атакує, та пеленгу на ракету для обґрунтування кутів, напрямів та режимів застосування хибних теплових цілей.*

**Ключові слова:** літальний апарат, захищеність, система оптико-електронної протидії, хибна теплова ціль, інфрачервона система наведення, інфрачервона головка самонаведення, перенацілювання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Останнім часом при проектуванні нових та модернізації існуючих літальних апаратів (ЛА) їх захищеність ставиться в один ряд з такими властивостями як льотні характеристики і вогнева потужність. Це обумовлено великою кількістю засобів ураження ЛА, які є практично у всіх озброєних формуваннях, що беруть участь в локальних конфліктах та високим рівнем втрат ЛА в них.

Не дивлячись на те, що сучасні ЛА оснащуються засобами захисту, імовірність їх поразки над полем бою залишається достатньо високою.

Однією з основних властивостей бойової ефективності ЛА є його захищеність. Цю властивість характеризує здатність ЛА виконувати свої функції за призначенням в умовах дії засобів противника: виявлення, прицілювання та ураження.

Досвід локальних конфліктів доводить, що неврахування нових засобів та можливостей протиповітряної оборони (ППО) й відсутність на ЛА відповідних засобів захисту від їх дії, приводить до неприпустимих втрат ЛА, що беруть участь в бойових діях і миротворчих операціях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останні роки в науково-технічній літературі поділяється значна увага збільшенню захищеності ЛА в зв'язку з зростанням загроз, які обумовлені тим, що на озброєнні майже всіх країн світу з'явилися ефективні засоби ураження з автоматичними та напівавтоматичними системами наведення.

**Метою статті** є аналіз досяжного ступеню захищеності ЛА від сучасних авіаційних засобів ураження за допомогою систем викиду хибних теплових цілей та визначення шляхів його підвищення.

### Основний матеріал

Основними джерелами інфрачервоного (ІЧ) випромінювання ЛА є неекрановані частини реактивного двигуна, а також обшивка ЛА на надзвукових швидкостях, що нагріваються. Для зниження температури зовнішніх частин двигуна та розсіювання факела використовуються спеціальні обтічники, екранно-вихлопні пристрої та захисні покриття, які дозволяють екранувати нагріті частини. Крім того, для зменшення інтенсивності випромінювання факела можливо використання спеціальних домішок, що вводяться в реактивний струмінь. Поряд з перерахованими засобами широке застосування отримали системи оптико-електронної протидії (ОЕПД).

Система ОЕПД є набором технічних засобів та тактичних прийомів, що перешкоджають наведенню оптичних систем виявлення і приводять до зриву атак, яка включає:

- систему, що забезпечує отримання інформації про роботу оптико-електронних засобів противника;
- систему, що вирішує завдання вибору оптимальної програми використання засобів протидії;
- систему протидії.

Одній з таких систем, що отримали широке застосування, є системи, які використовують хибні теплові цілі (ХТЦ), ІЧ пастки та інші пристрої, що використовуються для створення пасивних перешкод. Вони забезпечують зрив наведення за рахунок відведення за собою атакуючих керованих засобів ураження. Суть протидії електронно-оптичним засобам за допомогою хибних теплових цілей полягає в застосуванні спеціальних джерел теплового випромінювання, що перевершують або на рівні по потужності випромінюванню ЛА, який прикривається.

Дія ХТЦ на ІЧ системи наведення, при відсутності засобів селекції цілі, призводить до зриву стеження за ЛА та переходом до стеження за ХТЦ, внаслідок чого збільшується промах ракети і зменшується ймовірність її попадання в ціль, що значно знижує ефективність керованих засобів з ІЧ системами наведення. Досвід повітряних боїв та подолання системи ППО показав необхідність оснащення ЛА патронами з ХТЦ для відбиття атак ракет з ІЧ системами наведення. Найбільшого поширення при захисті ЛА набули ХТЦ, що викидаються та відстрілюються (вільно падають).

На ЛА, що знаходяться на озброєнні Збройних Сил України, для скидання ХТЦ використовуються спеціальні пристрої, такі як АСО-2В для піропатронів калібру 26 мм та КДС-23 для піропатронів калібру 50 мм. Легкі ХТЦ з силою випромінювання до 5 кВт/ср та масою 0,1 – 1,0 кг призначені для захисту вертольотів та літаків транспортної авіації шляхом постановки їх в задній півсфері (“ЗПС”) одиночно або серіями. Інтервал в серії визначається часом виходу попередньої ХТЦ з поля зору теплової головки самонаведення (ТГС) ракети, що стежить за ціллю.

Для захисту літаків тактичної авіації та важких літаків транспортної авіації застосовують середні ХТЦ, що мають масу 1,2 кг і силу випромінювання до 15 кВт/ср. Скидання ХТЦ може проводитися одиночно, серійно, залпом та серією залпів. Кількість ХТЦ в залпі і інтервали в серії визначаються потужністю теплового випромінювання ЛА та бойовою обстановкою.

Пристрій АСО-2В може здійснювати відстріл в наступних режимах:

- серіями по 4 патрони з інтервалом 0,3 с або 1 с та автоматичним виключенням пристрою після відстрілу кожної серії;
- серіями по 16 патронів з інтервалом в 0,3 с або 1 с та автоматичним виключенням пристрою після відстрілу кожної серії.

Пристрій КДС-23 може здійснювати відстріл в наступних режимах:

- ручний та автоматичний серійний відстріл по 6 патронів з інтервалом 0,05 с, 0,1 с та 0,5 с між кожною парою відстріляних патронів;
- ручний та автоматичний залповий відстріл по 2, 3 й 6 патронів.

Кожен з вказаних пристроїв забезпечує відстріл ХТЦ однакової потужності випромінювання.

Сучасні авіаційні засоби ураження з ІЧ системами наведення стали всеракурсними, мають спеціальні схеми завадозахисту, амплітудну та кінематичну селекції. Відзначною особливістю ракет з ІЧ системами наведення є можливість бойового застосування їх в діапазоні малих відстаней до цілі (до 300...400 м з боку “ЗПС”).

У зв’язку з розробкою ракет з ІЧ системами наведення з підвищеною завадозахищеністю удосконалюються ХТЦ та засоби їх постановки.

Хибні теплові цілі (пастки, піропатрони, трасери, освітлювальні бомби та ін.) є засобом одноразового використання. У зв’язку з цим існують масові обмеження на кількість розміщуваних ІЧ патронів, а також значне падіння сили їх випромінювання із зростанням висоти польоту, що в сумі теж накладає певні вимоги до розробки систем ОЕПД.

Для вирішення проблем захисту ЛА проводяться роботи в напрямках:

- зближення спектральних характеристик ХТЦ із спектральними характеристиками ЛА;
- зменшення впливу умов бойового застосування (швидкості та щільності повітря) на характеристики випромінювання;
- забезпечення оптимальних траєкторних параметрів ХТЦ, зокрема зменшення швидкості відстрілу;
- зменшення часу виходу ХТЦ на режим номінального горіння.

Розроблені найбільш досконалі системи, які призначені для:

- виявлення пуску противником керованих ракет, їх типу, дальності та пеленга,
- рішення завдання по виробленню сигналів на автоматичне включення засобів протидії ІЧ системам наведення цих ракет

– використання відстрілу серій ХТЦ, в яких використовуються ХТЦ різних потужностей та різний порядок й інтервали їх відстрілу, залежно від умов повітряної обстановки і типу засобу ураження (на даний час в Державному науково-випробувальному центрі Збройних Сил України проводяться випробування нового дослідного зразка комбінованого пристрою викидання ХТЦ “Адрос” КУВ 26-50.

Вплив ХТЦ на ІЧ-системи наведення (на ефективність захисту ЛА) в ближній зоні залежить від дальності (D) від ракети до ЛА, ракурсу атаки ракет (q) та часу розгоряння ХТЦ ( $t_p$ ). Застосування ракет ближнього бою з відстаней менше 1500 м приведе до значного зниження ефективності застосування ХТЦ з часом розгоряння більше 0,4 с. Тому одним з основних напрямів підвищення ефективності ХТЦ при захисті ЛА від ракет ближнього бою є зменшення часу розгоряння ХТЦ до величини 0,1...0,2 с. Це обумовлено зниженням ефективності дії хибних цілей при збільшенні їх кутового розузгодження щодо оптичної осі координатора ІЧ головки самонаведення (ІЧГСН) у момент виходу на номінальний режим горіння. Для перенацілювання ІЧГСН на ХТЦ, що мають кутове розузгодження не більш 20', необхідно забезпечити відношення потоків від ХТЦ та цілей  $n = 1,2...1,5$ . Якщо ж після відстрілу ХТЦ розгоряння відбувається за межами лінійної зони характеристики пеленгації ІЧГСН, то необхідне для перенацілення відношення  $n$  значно збільшується, досягаючи при  $\alpha = 70...80'$  (кутове положення ХТЦ щодо ракети) значень 10...15.

Ефективність застосування ХТЦ знижується в 4,5 рази із зменшенням дальності пуску ракет ближнього бою в межах їх зони пуску.

Один із способів протидії ІЧ системам наведення з схемами завадозахисту – відстріл серій ХТЦ, сформованих залповим відстрілом ІЧ патронів. Якщо сила випромінювання ХТЦ<sub>1</sub> має велику, а ХТЦ<sub>2</sub> приблизно рівну силу випромінювання з ЛА, то такий відстріл ефективний проти схем завадозахисту з амплітудною, амплітудною та кінематичною селекціями, що включені послідовно, й ІЧ-системам наведення без схем завадозахисту (які ХТЦ<sub>1</sub> відводить на себе). Часовий інтервал у середині серії (t<sub>с3</sub>) повинен обиратися з умови:

$$t_{с3} < t_{ІЧГС} + t_{з3},$$

де t<sub>ІЧГС</sub> – час знаходження ХТЦ у полі зору ІЧ-системи наведення; t<sub>з3</sub> – час “опускання” схеми завадозахисту.

Потрібна кількість ІЧ патронів в ХТЦ<sub>2</sub> (N<sub>2</sub>) та t<sub>ІЧГС</sub> є функціями дальності D, пеленга на ракету φ (ракурс атаки ракет q), режиму роботи силової установки. Оскільки, як правило, відсутня інформація про момент пуску ракет, а також при використанні застарілих систем захисту, основним режимом застосування ХТЦ повинен бути відстріл серій залпів з гнучкою зміною N<sub>2</sub> та t<sub>с3</sub> в кожному залпі відповідно до поточних умов тактичної обстановки (D, φ) й режиму роботи силової установки. Опорними значеннями для вибору t<sub>с3</sub> можуть служити t<sub>ІЧГС</sub> як математичне очікування t<sub>с3</sub>. Дана пропозиція дозволяє створити алгоритм, адаптивний до схем завадозахисту ІЧ системам наведення та умовам тактичної обстановки.

При відбитті атак в горизонтальній або вертикальній площинах відстріл слід проводити в тих напрямках, з яких ведеться атака. Так, позитивним пеленгам відповідає при кутах відстрілу α = 30° в 2,5...4,1 разу менше число N<sub>2</sub>, ніж при α = 90°. При D > 3 км. кути та напрями відстрілу не впливають на ефективність. Зважаючи на обмеженість боєкомплекту ІЧ патронів на ЛА відстріл серією залпів слід вести як програмний відстріл обмежений серією залпів з кількістю залпів, що є також функцією дальності, що забезпечує:

а) для ракет “повітря-повітря”

– “ППС” – перекриття часу пусків, що визначається дальністю захоплення цілі ІЧ-системами наведення;

– “ЗПС” – перекриття часу розвороту на атакуючий комплекс для власної атаки або виходу з неї;

б) для ракет “поверхня-повітря” перекриття глибини смуги фронтової ППО.

Часовий інтервал між залпами визначається середнім часом повного циклу роботи атакуючих засобів.

Необхідно також збільшувати число ІЧ патронів в залпах, починаючи з висот, де їх випромінювання починає істотно падати (H > 3...5 км.) і відповідно до режиму роботи силової установки.

Теоретичний аналіз роботи ІЧ систем наведення показує, що сигнал на виході частотного детектора (ЧД)

$$U_d = I_0 \left[ z(\Omega_{ц}) + \rho \cdot \Omega_{\delta} \alpha \cos \varphi \right] \text{ при } \alpha < 1 - \alpha_0 ;$$

$$U_d = I_0 \left[ z(\Omega_{ц}) + \rho \cdot \Omega_{\delta} \frac{1}{\alpha} \cos \varphi \right], \text{ при } \alpha > 1 + \alpha_0 .$$

З нерівностей (1) видно, що при ідеальному обмеженні постійна складова сигналу на виході детектора визначається величиною I<sub>0</sub>z(Ω<sub>ц</sub>) від цілі або I<sub>0</sub>z(Ω<sub>х</sub>) від ХТЦ, тобто по постійній складовій відбувається придушення слабого сигналу сильним. Перекручування сигналу залежить від частоти биттів, що визначається кутами неузгодженості цілі й завади. При неідеальному обмеженні постійна складова напруги на виході ЧД залежить від амплітуд обох сигналів. У цьому випадку дія двох цілей на ІЧ системи наведення з частотно-фазовою модуляцією (ЧФМ) аналогічна дії на ІЧ системи наведення з амплітудно-фазовою модуляцією (АФМ), і різниця полягає лише в тому, що в таких системах величина кута неузгодженості впливає не на глибину модуляції, а на зміну частоти вхідного сигналу, що в остаточному підсумку також змінює амплітуду й фазу сумарного сигналу.

Для ІЧ систем наведення з широко-імпульсною модуляцією (ШІМ) сигнал на виході ІЧ системи наведення залежить від потужності випромінювання цілі в спектральному діапазоні приймача випромінювання, як в ІЧ системах наведення з АФМ та ЧФМ. Тому реакцію ІЧ систем наведення з ШІМ на кілька джерел теплового випромінювання можна описувати аналогічно ІЧ системі наведення з АФМ й ЧФМ. Різниця полягає лише в тому, що в цьому випадку кут неузгодженості впливає не на глибину модуляції або частоту, а на тривалість імпульсів вихідного сигналу ІЧ головки самонаведення. Зовсім по-іншому працює ІЧ система наведення з часово-імпульсною модуляцією променистого потоку, що має приймач випромінювання (ПВ) у вигляді напівхреста. Сигнал на виході часово-імпульсних ІЧ систем наведення не залежить від потужності випромінювання цілі, а визначається тільки величиною й фазою неузгодженості між оптичною віссю координатора та напрямком на цілі. Тому, при наявності в полі зору ІЧ системи наведення декількох цілей, ракета наводиться на ту, котра захоплена першою, а перемикання ІЧ системи наведення на іншу цілі можливо тільки при влученні зображення від її на ПВ в момент відкритого стану приймача t<sub>δ</sub>.

Перенацілювання ІЧ системи наведення з цілі на ХТЦ можливо при виконанні умов:

$$0 < \frac{r_{ц} r_3}{r_0^2} \cos \varphi_{ц} \cos \varphi_3 +$$

$$+ \sqrt{\left[ 1 - \left( \frac{r_{ц}}{r_0} \right)^2 \cos^2 \varphi_{ц} \right] \left[ 1 - \left( \frac{r_3}{r_0} \right)^2 \cos^2 \varphi_3 \right]} \leq \cos \omega_0 t ;$$

$$0 < \frac{r_{\text{ц}}}{r_0^2} \sin \varphi_{\text{ц}} \sqrt{1 - \left(\frac{r_3}{r_0}\right)^2 \sin^2 \varphi_3} - \quad (2)$$

$$- \frac{r_3}{r_0^2} \sin \varphi_3 \sqrt{1 - \left(\frac{r_{\text{ц}}}{r_0}\right)^2 \sin^2 \varphi_{\text{ц}}} \leq \sin^2 \omega_0 t,$$

де  $r_0$  – радіус окружності сканування;  $r_{\text{ц}}$ ,  $r_3$  – радіуси, що визначають величину кута неузгодженості цілі й завади відповідно,  $\varphi_{\text{ц}}$ ,  $\varphi_3$  – пеленги на ціль та заваду відповідно.

З нерівностей (2) видно, що при відомих координатах ЛА, що захищається, зона ефективного застосування ХТЦ, що забезпечує перенацілювання ІЧ-головки самонаведення з часово-імпульсною модуляцією цілі на заваду, визначається фазою  $\varphi_3$  й радіусом неузгодженості  $r_3$  завади. Ефективні зони впливу ХТЦ, що задовольняють нерівностям (2), можна одержати графічною побудовою. Ці зони показані на рис. 1 при  $\varphi_3 = 0 - 360^\circ$ ;  $\varphi_{\text{пер}} = 30^\circ$ .

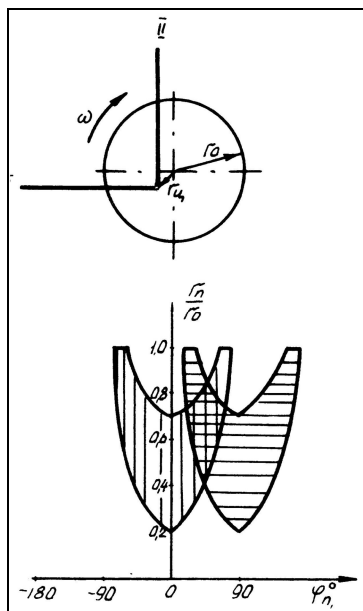


Рис. 1. Ефективна зона дії ХТЦ

Вертикальними лініями заштриховані області, при знаходженні в яких ХТЦ забезпечується перенацілювання ІЧ системи наведення по каналу I, горизонтальними – по каналу II.

Аналіз зон ефективного впливу ХТЦ показує, що їх величина й розташування залежать від величини та фази кута неузгодженості цілі, а також від орієнтації плеча приймача випромінювання й напрямку сканування зображення цілі. Розташування даної області буде носити випадковий характер. Тому для одержання найбільшої ймовірності перенацілювання ІЧГСН із цілі на перешкоду необхідно викидати ХТЦ одночасно в кожен чверть простору щодо напрямку на атакуючу ракету.

Результати експерименту показують, що при спостереженні тільки рухливого координатора за

ціллю при  $\omega_3=0$  зі збільшенням кутової швидкості цілі потужність теплового випромінювання ХТЦ у спектральному діапазоні роботи ПВ, необхідна для перенацілювання ІЧГСН, падає за лінійним законом. Врахування динаміки розвороту ракети призводить до збільшення потрібної для перенацілювання потужності ХТЦ на 5 – 10%.

Розрахунок статистичної ймовірності перенацілювання визначається за формулою

$$P^*(\alpha_i, \omega_i) = \frac{m_i}{n_i},$$

де  $n$  – число проведених дослідів;  $m$  – число сприятливих подій – число перенацілювань.

Тому що частота  $P^*(\alpha_i, \omega_i)$  є випадковою величиною й при малому числі дослідів значно відрізняється від ймовірності  $P$ , визначалися довірчі інтервали

$$P^*(\alpha_i, \omega_i) = \tau \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}} \leq P < P^*(\alpha_i, \omega_i) + \tau \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}},$$

де  $P^*$  береться з дослідів, а  $\tau$  – квантиль стандартного нормального розподілу.

Аналіз залежностей  $P^*(\alpha_i, \omega_i)$  показує, що зі збільшенням потужності теплового випромінювання перешкоди в спектральному діапазоні роботи ПВ й кутової швидкості цілі  $\omega_{\text{ц}}$  при  $\omega_3 = 0$  ймовірність перенацілювання ІЧ системи наведення з цілі на заваду зростає за законом, близьким до лінійного.

## Висновки

1. Вплив ХТЦ на ІЧ системи наведення (на ефективність захисту ЛА в ближній зоні залежить від дальності від ракети до ЛА, ракурсу атаки ракет та часу розгоряння ХТЦ ( $t_p$ ).

2. Один зі способів протидії ІЧ системам наведення з схемами завадозахисту – відстріл серій залпів ХТЦ з гнучкою зміною кількості ІЧ патронів та часового інтервалу в кожному залпі відповідно до поточних умов тактичної обстановки ( $D$ ,  $\varphi$ ) й режиму роботи силової установки.

3. Для одержання найбільшої ймовірності перенацілювання ІЧГСН із цілі на перешкоду необхідно викидати ХТЦ одночасно в кожен чверть простору щодо напрямку на ракету, що атакує.

## Список літератури

1. Підвищення захищеності вертольотів при проведенні їх модернізації / В.Г. Башинський, Р.Г. Шабан, С.М. Туренко, О.Б. Котов // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 3 (23). – С. 22-25.
2. Башинський В.Г. Загальні положення комплексного методу оцінки та порівняння систем захисту ЛА від КР з ІЧГСН / В.Г. Башинський // Інтегровані технології та енергозбереження. – Х.: НТУ "ХП", 2013. – № 1. – С. 15-17.
3. Башинський В.Г. Методика розрахунку узагальненого показника захищеності, який характеризує літальний апарат як складну технічну систему / В.Г. Башинський // Збірник наукових праць ДНДІА. – К.: ДНДІА, 2012. – Вип. 8 (15) – С. 48-53.

4. Башинський В.Г. Перспективи застосування фальшивих теплових цілей при захисті літальних апаратів / В.Г. Башинський, Ю.О. Камак, О.А. Жевчук // Збірник наук. праць ЦНДІ ОВТ. – К.: ЦНДІ ОВТ, 2011. – № 20. – С. 63-69.

5. Справочник по инфракрасной технике. В 4 т. Т.4. Проектирование инфракрасных систем / [под ред. У.Волф та Г.Циис]; пер. с англ. – М.: Мир. 1999. – 472 с.

6. Защита самолетов от ракет с ТГС: моногр. / В.Л. Кучин, Л.З. Криксунов, В.А. Волков, В.К. Вялов. – М.: Воениздат, 1982. – 430 с.

7. Архипов М.І., Ребрин Ю.К., Феценко А.Л. Захист літальних апаратів від ураження керованим озброєнням / М.І. Архипов, Ю.К. Ребрин, А.Л. Феценко Труды академії. – 2007. – №79. – С. 159-162.

Надійшла до редколегії 5.10.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.Б. Леонтьев, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СТЕПЕНИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ ВЫБРОСА ЛОЖНЫХ ТЕПЛОВЫХ ЦЕЛЕЙ

В.Г. Башинский, Д.Г. Васильев, Ю.А. Камак

*Рассмотрены системы оптико-электронного противодействия, использующие ложные тепловые цели, которые обеспечивают срыв инфракрасных систем наведения за счет увода за собой атакующих управляемых средств поражения. Проведен анализ зависимостей необходимого количества инфракрасных патронов и времени нахождения ложных тепловых целей в поле зрения инфракрасной системы наведения от дальности до атакующей ракеты и пеленга на ракету для обоснования углов, направлений и режимов применения ложных тепловых целей.*

**Ключевые слова:** летательный аппарат, защищенность, система оптико-электронного противодействия, ложная тепловая цель, инфракрасная система наведения, инфракрасная головка самонаведения, перенацеливание.

## RESULTS OF ANALYSIS OF AIRCRAFTS PROTECTED DEGREE WITH HELP OF FALSE THERMAL TARGETS KICK SYSTEMS

V.G.Bashinskiy, D.G. Vasylyiev, Y.O. Kamak

*The systems of optical-electronic counteraction using false thermal targets which provide blowing off the aiming infra-red systems due to a withdrawal after itself the attacking guided decimators are considered. The analysis of dependences of infra-red patrons necessary amount and time of being of false thermal targets in aiming infra-red system sign from distance to the attacking rocket and bearing on a rocket for the ground of corners, directions and modes of false thermal targets application is conducted.*

**Keywords:** aircraft, protected, system of optical-electronic counteraction, false thermal target, aiming infra-red system, homing infra-red device, re-aiming.