ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 535.233.42+623.465.757

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПОРОГА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕГИСТРАТОРА ЛАЗЕРНОГО ПЯТНА ПОДСВЕТА ОТ АВИАЦИОННЫХ ПРИЦЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЛЕТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Статья поступила в редакцию 08.07.2021, в окончательном варианте - 05.10.2021.

Маслиев Алексей Анатольевич, ИМК ФГУП «ГосНИИАС», 416500, Российская Федерация, г. Ахтубинск-7,

Московский авиационный институт, 125993, Российская Федерация, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4.

аспирант, старший преподаватель, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7231-2263, e-mail: panoramasix@gmail.com

Горин Алексей Владимирович, ИМК ФГУП «ГосНИИАС», 416500, Российская Федерация, г. Ахтубинск-7,

начальник отдела, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8650-7133, e-mail: allgor 79@mail.ru

Хисматов Игорь Федорович, АО «Концерн воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей» 121471, Российская Федерация, г. Москва, ул. Верейская, 41,

доктор технических наук, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6866-4650, e-mail: abu-sergey@yandex.ru

В статье предлагается методика расчетной настройки чувствительности регистратора лазерного пятна при планировании и в процессе проведения наземных и летных экспериментов. Методика основана на расчете потока излучения [1, 2], падающего на детекторы системы регистрации, с учетом дальности и углов визирования мишени, характеристик излучателя и погодных условий. Предлагается настраивать порог чувствительности регистратора лазерного пятна двумя способами: а) статическим, перед проведением летного эксперимента: установка чувствительности детекторов выполняется, исходя из заданного диапазона дальности подсвета, в котором необходимо обеспечить требуемую точность регистрации положения пятна; б) динамическим, в процессе выполнения летного эксперимента: автоматическая подстройка чувствительности с учетом изменений пространственного положения подсветчика воздушного базирования относительно мишени в ходе полета. Каждый из способов позволяет уменьшить временные и материальные затраты подготовку экспериментов, а также повысить достоверность оценок положения энергетического центра пятна на мишени.

Ключевые слова: испытания, моделирование, лазерный подсвет, фотоприемник, чувствительность, лазерное пятно, лазерная головка самонаведения, матрица фотоприемников, смотрящая система, освещенность, поток излучения, статический способ, динамический способ

METHODOLOGY FOR SELECTING THE SENSITIVITY THRESHOLD OF THE LASER SPOT ILLUMINATION RECORDER FROM AVIATION SIGHTING SYSTEMS WHEN PLANNING FLIGHT EXPERIMENTS

The article was received by the editorial board on 08.07.2020, in the final version -05.10.2020.

Masliev Aleksey A., IMK FGUP «GosNIIAS», Akhtubinsk-7, 416500, Russian Federation,

Moscow Aviation Institute, 4 Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993, Russian Federation,

postgraduate student, Senior Lecturer, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7231-2263, e-mail: panoramasix@gmail.com

Gorin Aleksey V., IMK FGUP «GosNIIAS», Akhtubinsk-7, 416500, Russian Federation,

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8650-7133, e-mail: allgor 79@mail.ru

Khismatov Igor F., Almaz-Antey Aerospace Defense Concern JSC, 41 Vereyskaya St., Moscow, 121471, Russian Federation,

Doct. Sci., ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6866-4650, e-mail: abu-sergey@yandex.ru

The article proposes a method for calculating the sensitivity adjustment of the laser spot recorder during planning and during conducting ground and flight experiments. The method is based on the calculation of the radiation flux [1, 2] incident on the detectors of the registration system, taking into account the range and angles of sight of the target, the

characteristics of the emitter and weather conditions. It is proposed to adjust the sensitivity threshold of the laser spot recorder in two ways: a) static, before conducting a flight experiment: the sensitivity of the detectors is set based on a given range of illumination range, in which it is necessary to ensure the required accuracy of registering the spot position; b) dynamic, during the flight experiment: automatic adjustment of sensitivity taking into account changes in the spatial position of the air-based illuminator relative to the target during the flight. Each of the methods allows to reduce the time and material costs of preparing experiments, as well as to increase the reliability of estimates of the position of the energy center of the spot on the target.

Keywords: tests, modeling, laser illumination, photodetector, sensitivity, laser spot, laser homing head, photodetector matrix, viewing system, illumination, radiation flux, static method, dynamic method

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. При проведении летных экспериментов по проверке возможности применения авиационных средств поражения (АСП) с лазерными головками самонаведения (ГСН) часто возникает необходимость в подтверждении нахождения лазерного пятна *в заданных пределах на мишени*, а также в оценке *положения его энергетического центра*. Для этого могут применяться различные типы регистраторов: от матриц фотодиодных детекторов до тепловизионных систем с матричными фотоприемными устройствами [1]. Однако общим вопросом их применения является выбор порога срабатывания при облучении динамично изменяющимся потоком излучения системы подсвета летательного аппарата (ЛА).

Противоречия, возникающие при решении задач регистрации лазерного пятна авиационных подсветчиков, заключаются в следующем. С одной стороны, лазерный подсвет, выполняемый аппаратурой воздушного базирования, начинается на значительном удалении от объекта. При этом система регистрации должна принимать излучение с площади значительных размеров, что вызвано расходимостью лазерного луча. По этой же причине порог чувствительности фотоприемников должен быть минимальным. С другой стороны, на конечном участке наведения средства поражения подсвет мишени осуществляется с минимальных дальностей, что уменьшает размеры пятна и увеличивает создаваемую им освещенность на детекторах регистрирующей системы. Соответственно, на минимальных дальностях порог их чувствительности должен быть существенно выше, что обусловлено возможностью регистрации отраженных «ложных засветок».

В случае несоответствия выставленного порога чувствительности уровню поступающего на фотоприемники потока излучения возможны явления, снижающие достоверность оценок положения границ или энергетического центра лазерного пятна. Определим понятие границы лазерного пятна следующим образом. Она ограничивает область проекции расходящегося пучка излучения подсветчика на мишень, в пределах которой отношение математического ожидания полезного сигнала $M[I_{nodes}]$, формируемого подсветом, к математическому ожиданию фонового сигнала $M[I_{nodes}]$, формируемого фоновым излучением, превышает заданное пороговое значение Kp_{nop} :

$$Kp \ge Kp_{nop} ,$$
$$Kp = \frac{M[I_{nodcs}]}{M[I_{don}]} ,$$

где I_{подсе} – ток, формируемый на фотоприемнике при воздействии излучения от подсветчика;

 $I_{\rm don}$ — ток, формируемый на фотоприемнике при воздействии фонового излучения.

Вопрос определения требуемого порога на мишени между фоновым излучением и излучением подсвета должен решаться в зависимости от целей конкретного исследования: либо это оценка точности подсвета воздушным подсветчиком, либо оценка дальности захвата лазерной ГСН. Например, при подсвете перпендикулярно мишени, температуре окружающего воздуха 15,3 °C, времени суток 11 часов, метеорологической дальности видимости 10 км и на дальности подсвета 100 км значение отношения «сигнал/шум» может составлять Kp = 1/3, а на дальности подсвета 10 км – Kp = 670.

При низком уровне порога чувствительности фотоприемников первым фактором, снижающим достоверность оценок положения пятна, является «засветка» фотоприемников его крайними областями в случаях, когда его геометрический центр расположен вне поля датчиков системы регистрации (рис. 1). В этом случае ошибка в определении положения границ пятна будет тем больше, чем больше дальность.



Рисунок 1 – «Засветка» фотоприемников периферийными областями лазерного пятна

Второй фактор снижения достоверности регистрируемой информации при низком уровне порога чувствительности фотоприемников может проявляться на минимальных дальностях подсвета. Он заключается в переотражениях лазерного излучения от мишени в фотоприемники, находящихся за пределами лазерного пятна (рис. 2). Величина отраженного потока излучения в этих точках может превысить установленное пороговое значение чувствительности фотоприемников, что приведет к «ложным засветкам».



Рисунок 2 – Переотражение лазерного излучения от мишени в фотоприемники, находящиеся за пределами лазерного пятна

При высоком уровне порога чувствительности фотоприемников на максимальных дальностях подсвета будет наблюдаться отсутствие регистрации фотоприемниками лазерного пятна, что является третьим фактором снижения достоверности оценок его положения.

Способом борьбы с «ложными засветками» фотоприемников является, с одной стороны, такая их геометрическая расстановка с выбором угла установки, при которой *минимизируется поток* нежелательного отраженного *излучения* на фотоприемниках. С другой стороны, выбор такого порогового уровня чувствительности фотоприемников, который обеспечивает наилучшую точность определения границ лазерного пятна в условиях динамичного подсвета и воздействия поля отраженного излучения на детекторы.

Схемы применения системы регистрации лазерного пятна. Рассмотрим схемы применения следующих систем регистрации лазерного пятна:

системы, основанной на использовании распределенных на некоторой поверхности фотоприемников – «матрицы фотоприемников», регистрирующей прямое излучение подсвета;

«смотрящей системы», проецирующей отраженное от мишени излучение подсвета в пространстве изображений на детекторную площадку, образованную с распределенными по ней фотоприемниками.

Матрица фотоприемников располагается на поверхности мишени (рис. 3), в то время как смотрящая система регистрации располагается на некотором удалении от мишени так, чтобы в ее угловом поле в пространстве предметов располагалась анализируемая поверхность (рис. 4).

В статье рассматриваются случаи, при которых в поле зрения каждого из элементов «матрицы фотоприемников» не попадает площадь мишени и, соответственно, исключено попадание на фотоприемники отраженного от мишени лазерного излучения.

В зависимости от схемы применения порог чувствительности устанавливается двумя способами:

электрическим, путем настройки порога усилителя – для «матрицы фотоприемников», а также для «смотрящей системы»;

оптическим, при помощи регулируемой диафрагмы – для «смотрящей системы».

Расчет требуемого порога чувствительности системы регистрации базируется на применении математической модели потока излучения на её детекторах.



Рисунок 3 - Схема эксперимента с применением матрицы фотоприемников непосредственно на мишени



Рисунок 4 – Схема эксперимента с применением матрицы фотоприемников внутри оптической системы, направленной на мишень

Математическое моделирование потоков излучения на входном зрачке фотоприемника. В случае расположения матрицы системы регистрации лазерного пятна непосредственно на мишени формирование освещенности входного зрачка любого её фотоприемника $E_{1\phi\Pi np}$ может быть описано следующей суммой [2, 3]:

$$E_{I\Phi IInp} = E_{Ana\partial\Phi II} + E_{Sna\partial\Phi II} + E_n , \qquad (1)$$

где $E_{Anad\Phi II}$ – освещенность, создаваемая рассеянным и собственным ИК-излучением участка атмосферы между источником и приемником излучения;

*Е*_{*SnadФII*} – освещенность, создаваемая прямым излучением солнца;

E_n – освещенность, создаваемая прямым излучением лазерной системы подсвета;

*Е*_{АпадФЛ} и *Е*_{SпадФЛ} могут быть вычислены для выбранных условий полета известными методами, например, с помощью расчетной программы АО «НПО «ГИПО» [4, 5].

Освещенность фотоприемников, создаваемая системой подсвета, определяется следующим образом [6]:

$$E_n = \frac{0.8 \cdot W_n \cdot \tau_{a1}}{\tau_{u_{Mn}} \cdot S_n} \cos \theta_1, \qquad (2)$$

где *W*_л – энергия излучателя, Дж;

τ_{a1} – коэффициент пропускания атмосферы на трассе подсвета мишени;

 τ_{um} – длительность импульса подсвета, с;

S_n – площадь пятна в плоскости матрицы фотоприемников, м²;

 θ_1 – зенитный угол подсвета, рад.

Поток излучения, создаваемый на входном зрачке фотоприемника, рассчитывается по формуле:

$$\Phi_{na\partial\Phi\Pi} = E_{I\Phi\Pi np} \cdot S_{\Phi\Pi} \,, \tag{3}$$

где $S_{\phi \Pi}$ – площадь фоточувствительного элемента фотоприемника.

В случае применения системы регистрации смотрящего типа, располагаемой на расстоянии от мишени, сначала необходимо рассмотреть формирование освещенности на её входном зрачке:

$$E_{_{3POEIII}} = E_{_{Anad3P}} + E_{_{Aomp3P}} + E_{_{Snad3P}} + E_{_{Somp3P}} + E_{_{n}} + M_{_{ucmov\,\varepsilon}}, \qquad (4)$$

где E_{Aomp3P} – освещенность, создаваемая отраженным от мишени излучением атмосферы;

*E*_{Some3P} – освещенность, создаваемая отраженным от мишени излучением солнца;

Е_n – освещенность, создаваемая отраженным от мишени излучением лазерной системы подсвета;

 $M_{ucmov\varepsilon}$ – светимость мишени, обусловленная собственным ИК излучением в диапазоне длин волн $\lambda_1...\lambda_2$.

Освещенность на входном зрачке смотрящей системы, создаваемая отраженным и падающим излучением атмосферы, Солнца и собственным излучением мишени, будем считать фоновой освещенностью $E_{\text{фон}}$:

$$E_{\text{dot}} = E_{Ana\partial 3P} + E_{Aomo3P} + E_{Sna\partial 3P} + E_{Somo3P} + M_{ucmove}.$$
(5)

Тогда формула (4) может быть записана в виде:

$$E_{_{3pOBILI}} = E_n + E_{_{dOH}}.$$
(6)

Светимость мишени, обусловленная собственным ИК излучением, определяется законом Планка:

$$M_{ucmov\,\varepsilon}(T,\varepsilon,\lambda_1,\lambda_2) = 2 \cdot \varepsilon \cdot c^2 \cdot \pi \cdot h \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda \cdot k \cdot T}} - 1} d\lambda , \qquad (7)$$

где *h* – постоянная Планка;

k – постоянная Стефана – Больцмана;

c – скорость света;

λ₁...λ₂ – диапазон длин волн излучения (выбирается исходя из чувствительности приемника оптической системы);

Т – температура поверхности мишени;

ε – коэффициент «серости» мишени:

$$\varepsilon = 1 - \rho , \qquad (8)$$

где р – направленный полусферический коэффициент отражения поверхности мишени.

Яркость L_{3p} отраженного от мишени излучения подсвета на входе объектива оптической системы регистратора смотрящего типа, создаваемая при условии, что расстояние L между мишенью и регистратором (рис. 4) достаточно велико по сравнению с размерами пятна (диаметром пятна Dп), может быть определена следующим выражением [7]:

$$L_{\rm sp} = \frac{E_n}{\pi} \cdot \beta \,, \tag{9}$$

где β – коэффициент яркости поверхности мишени, значение которого определяется направлениями подсвета и визирования пятна регистрирующей системой [8].

Подставим (2) в (9):

$$L_{\rm sp} = \frac{0.8 \cdot W_{\rm s} \cdot \tau_{\rm a1}}{\tau_{\rm uvm} \cdot S_{\rm n} \cdot \pi} \cdot \beta \cdot \cos \theta_{\rm r} \tag{10}$$

Поток $\Phi_{omp \phi II}$, создаваемый на регистрирующей площадке смотрящей системы отраженным от мишени излучением подсвета, определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{orp}\Phi\Pi} = S_n \cdot L_{\text{sp}} \cdot \frac{S_{\text{sp}}}{L^2} \quad \Pi p \mu \quad \frac{f'}{D_{\text{sp}}} < \frac{1}{2}, \qquad (11)$$

где *S_n* – площадь лазерного пятна на мишени;

S_{3p} – площадь зрачка оптической системы;

*D*_{3p} – диаметр зрачка оптической системы;

f' – заднее фокусное расстояние смотрящей системы.

Подставим (10) в (11) и получим:

$$\Phi_{\rm orp\Phi\Pi} = \frac{0.8 \cdot W_{\rm a} \cdot \tau_{\rm a1}}{\pi \cdot \tau_{\rm unn}} \cdot \frac{S_{\rm sp}}{L^2} \cdot \beta \cdot \cos\theta_{\rm I} , \qquad (12)$$

Определим ту часть энергии потока $\Phi_{\phi n}$, которая приходится на фоточувствительную площадку приемника. Согласно равенству Аббе:

$$S_{\mu} \cdot \sin^2 \sigma_a = S_{\mu} \cdot \sin^2 \sigma_a', \qquad (13)$$

где S_и – площадь изображения лазерного пятна;

σ_{*a*} – апертурный угол в пространстве предметов;

σ[']_a – апертурный угол в пространстве изображений.

Выразим из этого выражения площадь изображения лазерного пятна:

$$S_{\mu} = S_n \frac{\sin^2 \sigma_a}{\sin^2 \sigma'_a} \,. \tag{14}$$

Передний апертурный угол определяется по формуле:

$$\sin^2 \sigma_a = \frac{D_{yp}^2}{4I^2}.$$
(15)

Задний апертурный угол определяется по формуле:

$$\sin^2 \sigma'_a = \frac{D_{_{3p}}^2}{4f'^2} \,, \tag{16}$$

где f' – заднее фокусное расстояние оптической системы.

Подставим выражения (15) и (16) в (14):

$$S_{\mu} = S_{n} \frac{\sin^{2} \sigma_{a}}{\sin^{2} \sigma_{a}'} = S_{n} \frac{f'^{2}}{L^{2}}.$$
 (17)

Так как $S_{\mu} = \pi \cdot r_{\mu}^2$ и $S_n = \pi \cdot R_n^2$, то:

$$\pi \cdot r_{\mu}^{2} = \pi \cdot R_{n}^{2} \cdot \frac{f'^{2}}{L^{2}}, \qquad (18)$$

где *r*_н – радиус изображения лазерного пятна.

Отсюда

$$r_{\rm u} = R_n \frac{f'}{L} \,. \tag{19}$$

Зная радиус приемной площадки фотодиода $r_{\phi\phi}$, можно определить поток, поступающий на фотодиод отраженным от мишени излучением лазерной системы подсвета $\Phi_{omp\phi\Pi^*}$ (при условии, что $r_{\phi\alpha} \leq r_{\mu}$):

$$\Phi_{omp\phi\Pi^*} = \frac{r_{\phi\partial}}{r_{_{\rm H}}} \Phi_{omp\phi\Pi} \,. \tag{20}$$

Конечная формула для определения потока излучения, поступающего на фотодиод от пятна подсвета:

$$\mathcal{P}_{omp\Phi\Pi^*} = \frac{r_{\phi\phi}}{r_{_{\rm H}}} \cdot \frac{0.8 \cdot W_{_{\mathcal{A}}} \cdot \tau_{_{a1}}}{\pi \cdot \tau_{_{unn}}} \cdot \frac{S_{_{3P}}}{L^2} \cdot \beta \cdot \cos\theta_1 \,. \tag{21}$$

Для нахождения потока излучения на фотоприемнике с учетом действия фонового излучения необходимо определить его яркость, формирующую освещенность в области расположения этого фотоприемника:

$$L_{\phi o \mu} = \frac{E_{\phi o \mu}}{\pi} \cdot \beta , \qquad (22)$$

где $E_{\phi on}$ – освещенность на входном зрачке, создаваемая той частью мишени, которая формирует фоновое излучение на фотоприемник.

По аналогии с формулой (11):

$$\Phi_{\text{отр}\Phi\Pi\phi\text{он}} = S_n \cdot L_{\phi\text{out}} \cdot \frac{S_{\text{3p}}}{L^2}, \qquad (23)$$

Тогда:

$$\Phi_{omp \phi \Pi \phi on^*} = \frac{r_{\phi \phi}}{r_{\mu}} \cdot S_n \cdot \frac{E_{\phi on}}{\pi} \cdot \frac{S_{sp}}{L^2} \cdot \beta \quad \text{при} \quad \frac{f'}{D_{sp}} < \frac{1}{2} \quad \text{и} \quad \frac{L}{D_n} > 10 \; .$$
(24)

Искомый поток на фотоприемнике с учетом фона может быть определен следующим образом:

$$\Phi_{\rm orp\Phi\Pi o 6 \mu \mu} = \frac{r_{\phi \phi}}{r_{\mu}} \frac{S_{sp}}{\pi \cdot L^2} \cdot \beta \cdot \left(S_n \cdot E_{\phi \phi \mu} + \frac{0.8 \cdot W_n \cdot \tau_{a1}}{\tau_{u u m}} \cdot \cos \theta_1 \right).$$
(25)

Методика выбора порога чувствительности системы регистрации лазерного пятна, основанная на статическом способе. Представлена схема эксперимента при статическом способе выбора чувствительности фотоприемников (рис. 5).

Оборудование для эксперимента состоит из матрицы фотоприемников и комплекса обработки данных фотоприемников. Комплекс обработки данных от фотоприемников производит обработку принимаемых по радиоканалу данных и выдает информацию о положении лазерного пятна для ее визуализации в специализированной программе.

В данном случае чувствительность фотоприемников выбирается для наиболее важного участка полета носителя, при котором фиксируется либо все пятно целиком (если размеры пятна укладываются в пределах области контроля фотоприемниками), либо энергетический центр пятна (если размеры пятна превышают области контроля фотоприемниками).

Для выбора порога чувствительности статическим способом перед проведением эксперимента необходима информация о метеопрогнозе на дату и время проведения эксперимента, а также о положении Солнца. Из задания на натурную работу необходима информация о высоте, курсе, скорости носителя, а также о траектории полета объекта: пологое снижение, горизонтальный полет, пикирование или кабрирование.

Далее, исходя из характеристик источника и приемника лазерного излучения, а также характеристик фоноцелевой обстановки, производится расчет предполагаемой освещенности фотоприемников и их выходных сигналов.



Рисунок 5 - Схема эксперимента при статическом способе выбора чувствительности фотоприемников

Подход к расчету выходного сигнала фотодиода с учетом его инерционности при регистрации короткого импульса следующий. Фотоприемник может быть описан апериодическим звеном [9]:

$$W(p) = \frac{S_{\lambda}}{Tp+1},$$
(26)

где S_{λ} – токовая характеристика фотоприемника для длины волны λ лазерного излучения;

р – комплексная переменная.

Реакция апериодического звена на импульс излучения выражается через его весовую функцию и функцию $\Phi_{\phi n}(t)$, описывающую форму импульса потока излучения на нем:

$$i(t) = S_{\lambda} \cdot \int_{0}^{t} \Phi_{\phi \pi}(\tau) \cdot g(\tau) \, d\tau, \qquad (27)$$

$$g(t) = \frac{1}{T_{don}} e^{-\frac{t}{T_{don}}},$$
(28)

где *t* – текущее время (время длительности импульса подсвета);

 $T_{\phi \pi}$ – постоянная времени фотодиода;

g(t) – весовая функция апериодического звена.

В приближении прямоугольного импульса:

$$\Phi_{\phi \pi}(t) = \begin{cases}
\Phi_{\phi \pi} & \text{при } 0 < t < \tau_{\mu}, \\
0 & \text{при } t \notin [0, \tau_{\mu}].
\end{cases}$$
(29)

Формула (29) позволяет производить расчет предполагаемого тока на фотоприемнике для любой из рассмотренных схем применения системы регистрации пятна.

На основании приведенных формул строится соответствующая компьютерная модель [10].

Методика динамической настройки порога чувствительности системы регистрации лазерного пятна. Для выбора порога чувствительности динамическим способом перед проведением эксперимента также необходима такая же априорная информация, которая используется и при статическом способе. Кроме этого, по информации о текущем положении носителя в вычислителе комплекса обработки данных в реальном времени выполняется расчет предполагаемой освещенности и выходных сигналов фотоприемников. По результатам этого расчета в каждом его такте регулируется чувствительность фотоприемников.

Схема оборудования состоит из системы регистрации пятна, комплекса управления чувствительностью фотоприемников и комплекса обработки сигнала фотоприемников (рис. 6). Комплекс управления чувствительностью фотоприемников регулирует чувствительность двумя способами:

• с использованием текущих параметров полета объекта на основании бортовой телеметрической информации;

• с использованием прогнозируемых параметров полета.



Рисунок 6 - Схема эксперимента при динамическом способе выбора чувствительности фотоприемников

Во втором случае требуется тщательная проработка полетного задания летным составом с целью точного следования ему при выполнении заходов.

Чувствительность фотоприемников в течение всего захода выбирается таким образом, чтобы фиксировать либо все пятно целиком (если размеры пятна укладываются в пределах области контроля фотоприемниками), либо энергетический центр пятна (если размеры пятна превышают области контроля фотоприемниками).

Заключение. Предлагаемая методика основана на предварительном расчете потока излучения [2, 3], падающего на фотоприемное устройство, с учетом дальности и углов визирования мишени, характеристик излучателя и погодных условий. Применение такого подхода к планированию летных экспериментов, с одной стороны, уменьшит временные и материальные затраты на их подготовку, так как исключит предварительные заходы носителя на мишень с целью выставки порогов. С другой стороны, повысит достоверность оценок положения энергетического центра пятна на мишени за счет минимизации «ложных засветок».

Предлагаемая регулировка порога срабатывания фотоприемников может быть реализована двумя способами:

 а) проще реализуется статический способ, при котором подстройка чувствительности детекторов осуществляется, исходя из заданного диапазона дальности подсвета, в котором необходимо обеспечить требуемую точность регистрации положения пятна. Подстройка проводится перед проведением летного эксперимента;

б) сложнее реализуется динамический способ, при котором осуществляется автоматическая подстройка чувствительности с учетом изменений пространственного положения подсветчика воздушного базирования относительно мишени в ходе полета.

Библиографический список

1. Стариков, В. М. Мобильный полигонный комплекс сбора данных для информационного обеспечения летного эксперимента / В. М. Стариков // Передача, прием, обработка и отображение информации о быстротекущих процессах : сборник докладов Всероссийской научно-технической школы-семинара, 1–4 октября, г. Сочи. – С. 699–705.

2. Хисматов, И. Ф. Имитационная трехмерная модель поля яркости наземной фоноцелевой обстановки оптико-электронной системы конечного наведения / И. Ф. Хисматов // Труды ГосНИИАС. Вопросы авионики. – 2019. – № 4 (44). – С. 19–38.

3. Куншина, М. С. Моделирование полей яркости наземных фоноцелевых сюжетов в оптическом диапазоне спектра с учетом действия направленных источников подсветки / М. С. Куншина, Д. Т. Тиранов, В. Л. Филиппов, В. С. Яцык // Оборонная техника. – 2010. – № 6–7, – С. 28–33.

4. Танташев, М. В. Программа для расчета собственного излучения атмосферы в оптическом диапазоне электромагнитных волн : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014660669

/ М. В. Танташев, В. Л. Филиппов, Я. В. Осянников, И. Г. Вендеревская. – Дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 13.10.2014. – Заявка № 2014618551 от 26.08.14.

5. Филиппов, В. Л. Модель для расчета прозрачности атмосферы на произвольно ориентированных оптических трассах : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014660671 / В. Л. Филиппов, В. П. Иванов, М. В. Танташев, Я. В. Овсянников. – Дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 13.10.2014. – Заявка № 2014618562 от 26.08.14.

6. Заказнов, Н. П. Теория оптических систем / Н. П. Заказнов, С. И. Кирюшин, В. И. Кузичев. – Москва : Машиностроение, 1992.

7. Менделеев, В. Я. Методика измерения мощности излучения исследуемого материала и модели абсолютно черного теля для определения нормальной излучательной способности материала / В. Я. Менделеев, В. В. Качалов // Оптический журнал. – 2020. – янв. – Т. 87, № 1. – С. 77–80.

8. Тиранов, Д. Т. Моделирование индикатрис коэффициента яркости диффузно и направленно отражающих материалов при направленном облучении / Д. Т. Тиранов // Оборонная техника. – 2010. – № 6–7. – С. 33–37.

9. Гаркушенко, В. И. Теория автоматического управления : учебное пособие / В. И. Гаркушенко, Г. Л. Дегтярев. – Казань, 2010.

10. Карпов, А. И. Разработка компьютерной модели и исследование динамики системы автоматического управления бортовым оптико-электронным прибором / А. И. Карпов, В. А. Кренев, Д. А. Молин, А. Л. Гаврилов, Е. А. Герасин, Д. В. Павлов // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности : сборник докладов Международной научно-практической конференции, 5–8 августа 2014 г. – Казань, 2014. – С. 255–257.

References

1. Starikov, V. M. Mobilnyy poligonnyy kompleks sbora dannykh dlya informatsionnogo obespecheniya letnogo eksperimenta [Mobile polygon data collection complex for information support of a flight experiment]. *Peredacha, priem, obrabotka i otobrazhenie informatsii o bystrotekushchikh protsessakh : sbornik dokladov Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy shkoly-seminara* [Transmission, reception, processing and display of information about fast-flowing processes : proceedings of the All-Russian scientific and technical school-seminar], October 1–4, Sochi, pp. 699–705.

2. Khismatov, I. F. Imitatsionnaya trekhmernaya model polya yarkosti nazemnoy fonotselevoy obstanovki optiko-elektronnoy sistemy konechnogo navedeniya [Imitating three-dimensional model of the brightness field of a ground-based phono-target environment of an optoelectronic final guidance system]. *Trudy GosNIIAS. Voprosy avioniki* [Proceedings of GosNIIAS. Avionics Issues.], 2019, no. 4 (44), pp. 19–38.

3. Kunshina, M. S., Tiranov, D. T., Filippov, V. L., Yatsyk, V. S. Modelirovanie poley yarkosti nazemnykh fonotselevyhh syuzhetov v opticheskom diapazone spektra s uchetom deystviya napravlennykh istochnikov podsvetki [Modeling of brightness fields of ground-based phono-target plots in the optical range of the spectrum taking into account the action of directional illumination sources]. *Oboronnaya tekhnika* [Defense Equipment], 2010, no. 6–7, pp. 28–33.

4. Tantashev, M. V., Filippov, V. L. Osyannikov, Ya. V., Venderevskaya, I. G. *Programma dlya rascheta* sobstvennogo izlucheniya atmosfery v opticheskom diapazone elektromagnitnykh voln : svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2014660669 [A program for calculating the intrinsic radiation of the atmosphere in the optical range of electromagnetic waves : certificate of state registration of the computer program No. 2014660669]. Date of registration in the Register of computer programs 13.10.2014. Application no. 2014618551 dated 26.08.14].

5. Filippov, V. L., Ivanov, V. P., Tantashev, M. V., Ovsyannikov, Ya. V. Model dlya rascheta prozrachnosti atmosfery na proizvolno orientirovannykh opticheskikh trassakh : svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM N 2014660671. [A model for calculating the transparency of the atmosphere on arbitrarily oriented optical routes : certificate of state registration of a computer program No. 2014660671]. The date of registration in the Register of computer programs is 13.10.2014. Application No. 2014618562 dated 26.08.14.

6. Zakaznov, N. P., Kiryushin, S. I., Kuzichev, V. I. *Teoriya opticheskikh system* [Theory of optical systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1992.

7. Mendeleev, V. Ya., Kachalov, V. V. Metodika izmereniya moshchnosti izlucheniya issleduemogo materiala i modeli absolyutno chernogo telya dlya opredeleniya normalnoy izluchatelnoy sposobnosti materiala [Method of measuring the radiation power of the material under study and the blackbody model for determining the normal emissivity of the material]. *Opticheskiy zhurnal* [Optical magazine], Volume 87, no. 1, January 2020, pp. 77–80.

8. Tiranov, D. T. Modelirovanie indikatris koeffitsienta yarkosti diffuzno i napravlenno otrazhayushchikh materialov pri napravlennom obluchenii [Modeling of the brightness coefficient indicatrix of diffusely and directionally reflecting materials under directed irradiation]. *Oboronnaya tekhnika* [Defense equipment], 2010, no. 6–7, pp. 33–37.

9. Garkushenko, V. I., Degtyarev, G. L. *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya : uchebnoe posobie* [Theory of automatic control : training manual]. Kazan, 2010.

10. Karpov, A. I., Krenev, V. A, Molin, D. A., Gavrilov, A. L., Gerasin, E. A., Pavlov, D. V. Razrabotka kompyuternoy modeli i issledovanie dinamiki sistemy avtomaticheskogo upravleniya bortovym optiko-elektronnym priborom [Development of a computer model and study of the dynamics of an on-board optoelectronic device automatic control system]. *Poisk effektivnykh resheniy v processe sozdaniya i realizatsii nauchnykh razrabotok v rossiyskoy aviatsionnoy i raketno-kosmicheskoy promyshlennosti : sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Search for effective solutions in the process of creating and implementing scientific developments in the Russian aviation and rocket and space industry : proceedings of the international scientific and practical conference], August 5–8, 2014. Kazan, 2014, pp. 255–257.