

УДК 623.775

Модель процесса обратного рассеяния зондирующего лазерного излучения от облака микростеклосфер

Козирацкий Ю. Л., Хильченко Р. Г., Шутько Е. М.

Постановка задачи: В интересах защиты задней полусферы авиационных комплексов от атакующих управляющих ракет, оснащенных тепловой головкой самонаведения, рассмотрена возможность преждевременного срабатывания лазерного неконтактного взрывателя при воздействии на него отстреливаемого облака, состоящего из микростеклосфер. **Целью работы** является разработка модели процесса обратного рассеяния зондирующего лазерного излучения от помехового образования в виде облака микростеклосфер, позволяющей оценивать влияние характеристик помехового облака на возможность преждевременного срабатывания лазерного взрывателя управляемой ракеты. **Результат:** Предложен способ защиты авиационного комплекса, приводящий к срабатыванию взрывателя ракеты и подрыву боевой части на безопасном удалении. Разработана модель процесса обратного рассеяния зондирующего лазерного излучения от облака микростеклосфер. **Практическая значимость.** Модель позволяет найти среднее значение мощности оптического излучения, отраженного от частиц помехового облака, попавших в толщу облучения лазерным лучом взрывателя. Модель позволяет обосновать требования к помеховым образованиям и системам их постановки.

Ключевые слова: обратное рассеяния, микростеклосферы, лазерные неконтактные взрыватели.

Введение

В целях защиты авиационного комплекса (АК) от поражения управляемыми ракетами (УР), оборудованными тепловыми головками самонаведения, применяемыми из задней полусферы (ЗПС), существует широкий спектр защитных действий (противоракетный маневр, маневрирование с активным помеховым воздействием, маневр с отстрелом ложных тепловых целей, функциональное поражение оптико-электронной системы наведения управляемой ракеты и другие). Эти действия зачастую малоэффективны, так как хорошо известны и учтены при проектировании современных управляемых ракет. Абсолютное большинство вышеуказанных действий имеют своей целью тем или иным способом воздействовать на систему наведения УР.

Как альтернатива, одним из способов защиты АК от поражения является помеховое воздействие на лазерные неконтактные взрыватели (ЛНВ), установленные на УР, отстреливаемым облаком, состоящим из микростеклосфер, с целью их преждевременного срабатывания и подрыва боевой части на безопасном расстоянии. В [1] приводится описание применения эффекта «аномального

Библиографическая ссылка на статью:

Козирацкий Ю. Л., Хильченко Р. Г., Шутько Е. М. Модель процесса обратного рассеяния зондирующего лазерного излучения от облака микростеклосфер // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 2. С. 100-109. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10205

Reference for citation:

Koziratsky Yu. L., Khilchenko R. G., Shutko E. M. The model of the process of backscattering of probing laser radiation from a cloud of micro-glass spheres. *Systems of Control, Communication and Security*, 2019, no. 2, pp. 100-109. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10205 (in Russian).

обратного рассеяния» в лазерной локации с некоторыми эмпирическими результатами. В [2] рассмотрен процесс защиты АК от атакующей УР на основе отстрела помехового облака из микростеклофер и досрочного подрыва боевой части УР на безопасном удалении. В [3] предложен способ обнаружения и координатометрии атакующей УР со стороны ЗПС АК с целью своевременного отстрела и точной установки помеховых образований – ложных целей. Однако процесс помехового воздействия на лазерный взрыватель, приводящий к подрыву боевой части ракеты, требует математического описания рассеянного «назад» излучения от облака микростеклофер. Такое представление процесса необходимо для обоснования требований как к помеховым образованиям, так и к системам их постановки.

Необходимо разработать модель процесса обратного рассеяния зондирующего лазерного излучения от облака микростеклофер, позволяющую оценивать влияние характеристик помехового облака на возможность преждевременного срабатывания лазерного неконтактного взрывателя.

Постановка задачи

Для достижения поставленной цели, с помощью рис. 1, сформулируем постановку решаемой задачи следующим образом. Атакующая УР имеет свою систему координат (O_0XYZ) , ось O_0Z которой совпадает с направлением излучения лазерного дальномера взрывателя. Сечение лазерного луча в момент излучения представляет собой круг, лежащий на плоскости XO_0Y (плоскость Π_0) с центром, совпадающим с началом системы координат.

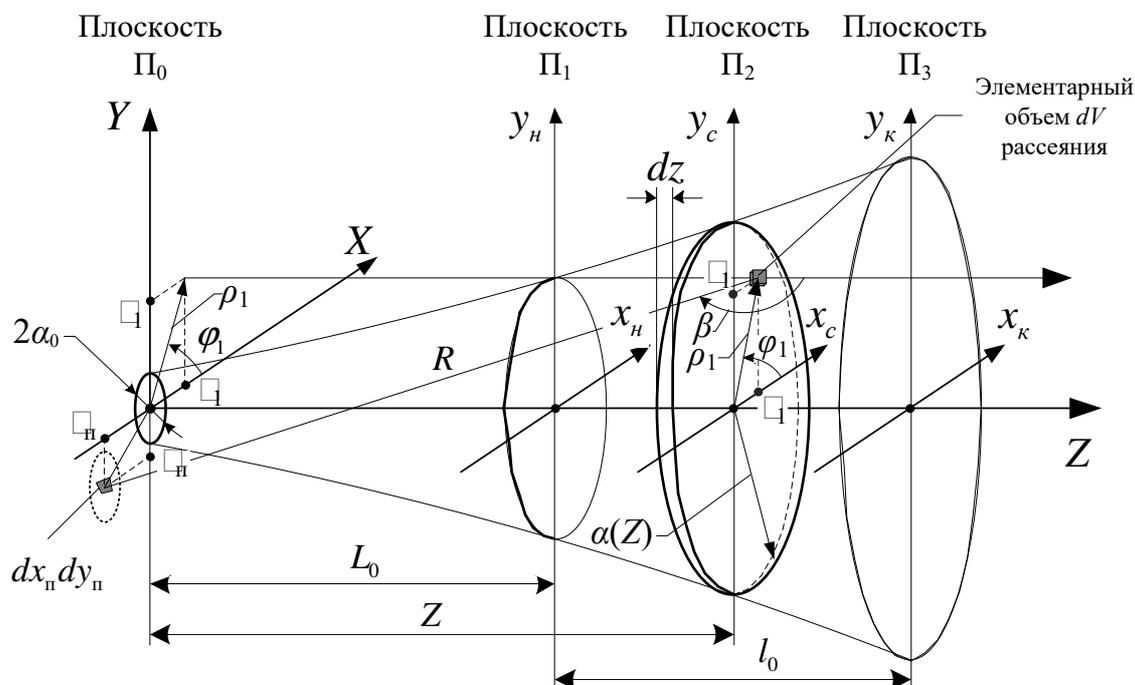


Рис. 1. Геометрия задачи обратного рассеяния зондирующего лазерного излучения помеховым облаком из микростеклофер

Находящееся на пути прохождения лазерного излучения помеховое облако разделим тремя плоскостями Π_1 , Π_2 и Π_3 таким образом, чтобы все они были параллельны плоскости Π_0 и образовывали плоскости сечения лазерного луча в начале, в середине и в конце помехового образования, соответственно. Рассмотрим элементарный объем dV помехового облака в точке с координатами $(x_1; y_1)$ декартовой системы или $(\rho_1; \varphi_1)$ полярной системы координат плоскости Π_2 . Данный объем будет рассеивать лазерное излучение, в том числе, и в обратном направлении. В плоскости Π_0 отметим координату $(x_n; y_n)$ точки приема рассеянного «назад» лазерного излучения, совпадающей с центром круглого фотоприемника.

Модели процесса обратного рассеяния зондирующего лазерного излучения

Аналитически зондирующее лазерное излучение, проходящее на элементарный объем dV помехового образования с координатами (x_1, y_1, Z) плоскости Π_2 , может быть описано выражением для плотности потока мощности:

$$\Phi_0(x_1, y_1, Z) = I_0 \frac{a_0}{a(Z)} \times \exp\left(-\frac{x_1^2 + y_1^2 + a^2(Z) \left((\alpha_p + \alpha_n)Z + (\alpha_{p0} + \alpha_{n0})(Z - L_0) \right)}{a^2(Z)}\right), \quad (1)$$

где $I_0 = I(Z=0)$ – интенсивность зондирующего лазерного излучения; $a_0 = a(Z=0)$ – начальный радиус сечения лазерного луча; α_{p0}, α_{n0} – показатели рассеяния и поглощения зондирующего излучения в облаке микростеклосфер (на трассе $(Z - L_0)$ рис.1); α_p, α_n – показатели рассеяния и поглощения зондирующего излучения вне облака микростеклосфер (на трассе L_0 рис. 1); $a(Z)$ – радиус сечения лазерного луча на расстоянии Z от источника излучения, значение которого на практике определяют из выражения [4]:

$$a(Z) = a_0 \sqrt{1 + \frac{4Z^2}{k_b^2 a_0^4}}, \quad (2)$$

$k_b = 2\pi/\lambda$ – волновое число.

Определим мощность рассеяния одной частицей сферической формы с радиусом r , находящейся в рассматриваемом элементарном объеме помехового облака:

$$dP_p^{(1)} = \Phi_0 \pi r^2 K_p(r), \quad (3)$$

где $K_p(r)$ – фактор эффективности рассеяния излучения одной частицей размера r , представляющий собой отношение рассеянной энергии частицей к энергии, падающей на ее геометрическое сечение.

Тогда мощность рассеянную элементарным объемом dV , содержащим N рассеивающих частиц с размерами $r_i = r$, определим из выражения:

$$dP_p^{(\Sigma)} = \Phi_0 \pi \sum_{i=1}^N r_i^2 K_p(r_i) = \Phi_0 \pi N r^2 K_p(r). \quad (4)$$

Однако при изготовлении микростеклосфер, их размер r имеет разные значения, тогда, если считать, что изготавливаемые микростеклосферы описываются по размеру (r) плотностью вероятности $f(r)$, то можно определить среднее значение мощности, рассеянной элементарным объемом (dV) помехового облака, следующим образом:

$$d\bar{P}_p^{(\Sigma)} = \Phi_0 \pi N \int_0^{\infty} r^2 K_p(r) f(r) dr. \quad (5)$$

Число частиц N в выражении (5) может быть определено через величину n концентрации частиц в элементарном объеме dV , тогда среднее значение мощности рассеяния лазерного излучения частицами элементарного объема можно записать в виде:

$$d\bar{P}_p^{(\Sigma)} = \Phi_0 \pi n \cdot dV \int_0^{\infty} r^2 K_p(r) f(r) dr. \quad (6)$$

При этом, когда речь идет о рассеянии излучения, рассматривается энергия, рассеянная во все стороны полусферы частицы (или элементарного объема), обращенной к источнику излучения («назад»). Для определения величины энергии на входе элементарной площади фотоприемника ($dx_{\Pi} \cdot dy_{\Pi}$), расположенного в одной плоскости Π_0 с излучателем, известной должна быть индикатриса рассеяния $\Psi(\beta)$ излучения в направлении угла β (рис. 1):

$$\frac{d\bar{P}_{\text{пр}}^{(\Sigma)}}{dV} = \Phi_0 \pi n \int_0^{\infty} r^2 K_p(r) f(r) dr \cdot \frac{\Psi(\beta)}{4\pi} \frac{dx_{\Pi} dy_{\Pi}}{R^2(x_1, y_1, x_{\Pi}, y_{\Pi})}, \quad (7)$$

где $R = \sqrt{(x_1 - x_{\Pi})^2 + (y_1 - y_{\Pi})^2 + Z^2}$ – расстояние между элементарным объемом dV с координатами (x_1, y_1) плоскости Π_2 облака микростеклосфер и элементарной площадкой фотоприемника (точка наблюдения) с координатами (x_{Π}, y_{Π}) плоскости Π_0 .

В итоге, для всей площади фотоприемника лазерного взрывателя УР средняя мощность рассеянного «назад» излучения будет определяться выражением в декартовой системе координат:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{\text{пр}}^{(\Sigma)} = & \iint_{A_{\text{пр}}} \int_{L_0}^{L_0+l_0} \iint_{S_{\text{л.с}}} \Phi_0 \pi n \int_0^{\infty} r^2 K_p(r) f(r) dr \times \\ & \times \frac{\Psi(\beta)}{4\pi} \frac{1}{R^2(x_1, y_1, x_{\Pi}, y_{\Pi})} dx_1 dy_1 dZ dx_{\Pi} dy_{\Pi}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $S_{\text{л.с}} = \pi a^2(Z)$ – площадь сечения лазерного излучения плоскостью Π_2 , представляющая собой круг; $A_{\text{пр}}$ – эффективная площадь поверхности апертуры формирующей оптики фотоприемника.

В полярной системе координат расстояние R в выражении (8) будет являться функцией ее полярных координат $R(\varphi_1, \rho_1, \varphi_n, \rho_n) = \sqrt{\Delta\rho^2 + Z^2}$, где $\Delta\rho = |\Delta\vec{\rho}| = |\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_n| = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_n^2 - 2\rho_1\rho_n \cos(\varphi_1 - \varphi_n)}$. Тогда выражение (8) примет следующий вид:

$$\bar{P}_{\text{пр}}^{(\Sigma)} = \int_0^{2\pi} \int_{x_n, y_n}^{R_n} \int_{L_0}^{L_0+L_0} \int_0^{2\pi} \int_0^{a(Z)} \Phi_0 \pi n \int_0^\infty r^2 K_p(r) f(r) dr \times \frac{\Psi(\beta)}{4\pi R^2(\varphi_1, \rho_1, \varphi_n, \rho_n)} d\varphi_1 d\rho_1 d\rho_n dZ d\varphi_n d\rho_n, \quad (9)$$

где R_n – радиус входного зрачка объектива фотоприемника.

Если помеховые образования обладают некоторой стабильностью в пространстве и во времени, то характеристики облаков из микростеклофер, искусственно создаваемых с помощью подрывов помеховых снарядов, значительно более изменчивы. Поэтому необходимо учитывать пространственно-временной характер изменения концентрации частиц.

Пространственно-временной закон распределения концентрации микро-стеклофер в облаке описывается выражением [1]:

$$f(x, y, z, t) = \frac{2nS_{\text{эфи}}}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \times \exp\left(-\frac{(x-x_0-v_x t)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-y_0-v_y t)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-z_0-v_z t)^2}{2\sigma_z^2}\right). \quad (10)$$

Здесь $nS_{\text{эфи}}$ – суммарная ослабляющая площадь частиц облака; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – параметры закона распределения (средние квадратичные отклонения) величин x, y, z ; x_0, y_0, z_0 – координаты центра, облака; v_x, v_y – скорости воздушной массы в горизонтальной плоскости; v_z – скорость оседания частиц облака; t – текущее время.

Воздействие обратного рассеяния лазерного излучения на лазерный неконтактный взрыватель

Рассмотрим процесс функционирования (ЛНВ) атакующей УР в соответствии с обобщенной структурной схемой, показанной на рис. 2 [5].

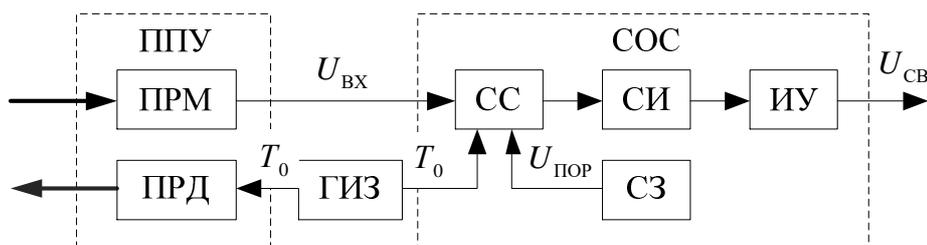


Рис. 2. Обобщенная структурная схема функционирования ЛНВ

Приемопередающее устройство (ППУ) включает передающий (ПРД) и приемный (ПРМ) блоки. Генератор импульсов запуска (ГИЗ) задает период T_0 повторения пачки зондирующих лазерных импульсов и служит для синхронизации ППУ и схема обработки сигналов (СОС). Отраженные от цели сигналы принимаются приемной оптикой и в виде напряжения $U_{ВХ}$ поступают на схему сравнения (СС), которая открыта только для тех сигналов, частота следования которых равна $1/T_0$. Предварительно настроенная схема заглубления (СЗ) формирует и выдает в СС пороговое значение напряжения $U_{ПОР}$, относительно которого входной сигнал $U_{ВХ}$ будет расцениваться как полезный или помеховый (фоновый). Превышающий порог сигнал в виде импульсной последовательности поступает на счетчик импульсов (СИ), где при поступлении подряд i импульсов приводится в действие исполняющее устройство (ИУ) и формируется команда «срабатывание взрывателя» $U_{СВ}$.

Одним из необходимых условий срабатывания ЛНВ является сравнение входного сигнала $U_{ВХ}$ с порогом $U_{ПОР}$. При этом величина $U_{ВХ}$ определяется количеством фотоэлектронов, образованных в результате приема отраженного от цели (рассеянного помеховым облаком) зондирующего лазерного излучения чувствительной поверхностью фотоприемника. Среднее значение количества сигнальных фотоэлектронов найдем из выражения [6]:

$$\bar{s}_c = \frac{\bar{P}_{пр}^{(\Sigma)} A_{пр} T_0 \eta}{h\nu} \tau, \quad (11)$$

где $\bar{P}_{пр}^{(\Sigma)}$ – мощность рассеянного излучения в импульсе на входе фотоприемника; τ – длительность зондирующего лазерного импульса; $h\nu$ – энергия кванта; η – квантовая эффективность фотоприемника; $A_{пр}$ – эффективная площадь поверхности апертуры формирующей оптики фотоприемника; T_0 – коэффициент пропускания формирующей оптики.

Тогда вероятность срабатывания ЛНВ может быть найдена из выражения для определения вероятности обнаружения рассеянного помеховым облаком излучения [7]:

$$P_{св} = \Phi \left(\sqrt{\frac{MN\bar{s}_c}{1-M}} - \frac{\Phi^{-1}(1-F_{лт})}{\sqrt{1-M}} \right), \quad (12)$$

где $M = \bar{s}_c / \bar{s}_\phi$ – отношение количества фотоэлектронов, принятых за сигнальные (\bar{s}_c), к числу фотоэлектронов, принятых как фоновое излучение (\bar{s}_ϕ); $\Phi^{-1}(x)$ – функция, удовлетворяющая соотношению $\Phi^{-1}[\Phi(x)] = x$; $F_{лт}$ – вероятность ложной тревоги, значение которой считаем заданным ($\cong 10^{-5}$).

Выводы

Таким образом, в рамках частного случая, защиты авиационного комплекса от управляемых ракет, оборудованных тепловыми головками самонаведения, применяемых из задней полусферы, авторами предложен способ, подав-

ления лазерных неконтактных взрывателей атакующих УР, приводящий к срабатыванию взрывателей и подрыву боевой части на безопасном удалении. Способ основан на формировании помехового облака из микростеклосфер, обладающего хорошими рассеивающими свойствами в отношении зондирующего излучения лазерного взрывателя. Для оценки влияния характеристик помехового облака на возможность преждевременного срабатывания лазерного взрывателя управляемой ракеты разработана модель процесса обратного рассеяния зондирующего лазерного излучения от облака микростеклосфер. Аналитически модель представляет собой среднее значение мощности оптического излучения, отраженного от частиц помехового облака, попавших в толщу облучения лазерным лучом взрывателя. Разработанный математический аппарат может быть использован для обоснования требований как к помеховым образованиям, так и к системам их постановки. В частности, для оценки возможности срабатывания взрывателя, величина средней мощности отраженного «назад» оптического излучения использована при определении среднего количества сигнальных фотоэлектронов в выражении вероятности срабатывания ЛНВ УР, полученном авторами ранее.

Литература

1. Мусьяков М. П., Миценко И. Д., Ванеев Г. Г. Проблемы ближней лазерной локации: Учебное пособие для вузов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 295 с.
2. Козирацкий Ю. Л., Хильченко Р. Г., Шутько Е. М. Вероятностная модель защиты летательного аппарата от управляемых ракет на основе пространственных образований из микростеклосфер // Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XIX Международной научно-методической конференции (Воронеж, 14-15 февраля 2019 г.). – Воронеж: ВГУ, 2019. – С. 379-385.
3. Козирацкий Ю. Л., Хильченко Р. Г., Шутько Е. М. Пассивная координатометрия атакующей управляемой ракеты матричными фотоприемниками в интересах информационного обеспечения комплекса обороны летательного аппарата // Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XIX Международной научно-методической конференции (Воронеж, 15-16 февраля 2019 г.). – Воронеж: ВГУ, 2019. – С. 386-392.
4. Литвиненко О.Н. Основы радиооптики. – Киев: Техника, 1974. 208 с.
5. Казаков И.Е., Мишаков А.Ф. Авиационные управляемые ракеты. Часть 2. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1985. – 424с.
6. Шереметьев А.Г. Статическая теория лазерной связи. – М.: Связь, 1971. – 264 с.
7. Козирацкий Ю. Л., Хильченко Р. Г., Мамаджанян Е. А. Исследование энергетических характеристик лазерной локационной станции при обнаружении беспилотных летательных аппаратов // Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XVIII Международной научно-

методической конференции (Воронеж, 14-15 февраля 2018 г.). – Воронеж: ВГУ, 2018. – С. 159-165.

References

1. Mus'iakov M. P., Mitsenko I. D., Vaneev G. G. *Problemy blizhnei lazernoi lokatsii: Uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Problems near laser location: manual for universities]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University, 2000. 295 p. (in Russian).

2. Koziratsky Yu. L., Khilchenko R. G., Shutko E. M. Veroyatnostnaya model' zashchity letatel'nogo apparata ot upravlyayemykh raket na osnove prostranstvennykh obrazovaniy iz mikrostecklosfer [Probabilistic model of protecting an aircraft from guided missiles based on spatial formations of micro-glass spheres]. *Informatika: problemy, metodologiya, tekhnologii: Materialy XIX mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Proceedings of the XIX international scientific-methodical conference «Informatics: problems, methodology, technology»]. Voronezh, Voronezh State University, 2019. pp. 379-385 (in Russian).

3. Koziratsky Yu. L., Khilchenko R. G., Shutko E. M. Passivnaya koordinatometriya atakuyushchey upravlyayemoy rakety matrichnymi fotopriyemnikami v interesakh informatsionnogo obespecheniya kompleksa oborony letatel'nogo apparata [Passive coordinate measurement of an attacking guided missile with matrix photodetectors in the interests of information support defense complex of the aircraft]. *Informatika: problemy, metodologiya, tekhnologii: Materialy XIX mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Proceedings of the XIX international scientific-methodical conference «Informatics: problems, methodology, technology»]. Voronezh, Voronezh State University, 2019. pp. 386-392 (in Russian).

4. Litvinenko O.N. *Osnovy radiooptiki* [Fundamentals of radio optics]. Kiev, Technique Publ., 1974. 208 p (in Russian).

5. Kazakov I. E., Mishakov A. F. *Aviatsionnyye upravlyayemye rakety. Chast 2.* [Aviation guided missiles. Part 2]. Moscow, Air Force Engineering Academy named after N. E. Zhukovsky, 1985. 424 p. (in Russian).

6. Sheremetyev A.G. *Sticheskaya teoriya lazernoy svyazi* [The static theory of laser communication]. Moscow, Svaz Publ., 1971. 264 p. (in Russian).

7. Koziratsky Yu. L., Khilchenko R. G., Mamadzhanyan E. A. *Issledovaniye energeticheskikh kharakteristik lazernoy lokatsionnoy stantsii pri obnaruzhenii bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [Study of the energy characteristics of a laser radar station when detecting unmanned aerial vehicles]. *Informatika: problemy, metodologiya, tekhnologii: Materialy XVIII mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Proceedings of the XVIII international scientific-methodical conference «Informatics: problems, methodology, technology»]. Voronezh, Voronezh State University, 2018. pp. 159-165 (in Russian).

Статья поступила 29 апреля 2019 г.

Информация об авторах

Козирацкий Юрий Леонтьевич – доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры радиоэлектронной борьбы (и технического обеспечения частей РЭБ). Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия» (г. Воронеж). Область научных интересов: конфликтология в радиоэлектронной борьбе. E-mail: urleo@bk.ru

Хильченко Роман Геннадиевич – кандидат военных наук. Преподаватель кафедры радиоэлектронной борьбы (и технического обеспечения частей РЭБ). Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия» (г. Воронеж). Область научных интересов: способы и средства защиты авиационного комплекса от перспективных средств ПВО противника. E-mail: hrg-1984@yandex.ru

Шутько Евгений Михайлович – инженер по радиоэлектронному оборудованию, инженерно-авиационной службы, авиационной эскадрильи ВУНЦ ВВС «ВВА». Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия» (г. Воронеж). Область научных интересов: эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования и систем вооружения. E-mail: cadetvvs@inbox.ru

Адрес: 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54а.

The model of the process of backscattering of probing laser radiation from a cloud of micro-glass spheres

Yu. L. Koziratsky, R. G. Khilchenko, E. M. Shutko

Problem Statement. *In this study the possibility of premature triggering of a non-contact laser fuse during a micro-glass spheres cloud shot impact was considered to protect the rear hemisphere of the aviation complexes from control missiles attacks, equipped with a thermal homing head. The aim of the paper is to develop the model of the process of backscattering of probing laser radiation from an interfering formation, which has a micro-glass spheres cloud form. The model allows to evaluate the influence of the interfering cloud characteristics on the premature operation of a laser-controlled rocket fuse possibility. Result.* *The proposed method allows to protect an aviation complexes. It enables to trigger rocket fuse and detonate the warhead at a safe distance. The model of the process of backscattering of probing laser radiation from a cloud of micro-glass spheres represents the average value of the optical radiation power, reflected from particles of the interfering cloud which fell into the irradiation depth of fuse laser beam. The model allows to substantiate the requirements of interference formations and their formulation systems.*

Keywords: *the process of backscattering, micro-glass spheres, non-contact laser fuses.*

Information about Authors

Koziratsky Yuriy Leontievich – Dr. habil. of Engineering Sciences, Professor. Professor of the Department of Electronic Warfare (and Technical Support of Electronic Warfare Parts). Military educational and scientific center of the Air Force «Military Air Academy» (Voronezh). Field of research: conflictology in electronic warfare. E-mail: urleo@bk.ru

Khilchenko Roman Gennadiyevich – Ph.D. of Military Sciences. Lecturer at the Department of Electronic Warfare (and Technical Support of Electronic Warfare Parts). Military educational and scientific center of the Air Force «Military Air Academy» (Voronezh). Field of research: methods and means of protecting the aviation complex from prospective enemy air defenses. E-mail: hrg-1984@yandex.ru

Shutko Evgeny Mikhailovich – Engineer for radio-electronic equipment of the engineering aviation service of the aviation squadron of the Air Force Academy. Military educational and scientific center of the Air Force «Military Air Academy» (Voronezh). Field of research: operation of aviation radio equipment and weapons systems. E-mail: cadetvvs@inbox.ru

Address: Russia, 394064, Voronezh, Old Bolsheviks Street, 54a.