

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ПОСАДКИ САМОЛЕТОВ

В статье на основе формул энергетического расчета доказана целесообразность использования оптико-электронных и лазерных измерителей для решения задач локации на малых дальностях с учетом влияния атмосферы и диффузных свойств цели

локация, оптико-электронные измерители, лазерные измерители, диффузные свойства, энергетические затраты, система посадки

Постановка проблемы

Обеспечение заданной дальности действия лазерного локатора при наименьших энергетических затратах для решения задачи посадки самолетов на конечном этапе с целью полной автоматизации процесса.

В существующих системах обеспечения посадки самолетов лазерные измерительные средства не используются.

Обоснование целесообразности использования лазерных измерителей в системах посадки.

Основной материал

Использование уникальных свойств лазерного излучения для достижения поставленной цели на основе анализа показателей эффективности системы.

Энергетические соотношения

Допустим, что среда распространения излучения является идеальной. В традиционной постановке задачи радиолокации принимаются следующие условия:

- цель является точечной или намного меньше облучаемого объема;
- апертура принимаемой антенны по

отношению к диаграмме направленности вторичного переизлучения является точечной или намного меньше ее;

- диффузное рассеяние цели и атмосферы отсутствует;

- поглощение атмосферой и целью отсутствует.

Примем приведенные условия за основу, но с некоторыми изменениями: объект переизлучения и приемная апертура антенны имеют конечные размеры. Тогда геометрическая схема взаимодействия излучателя и объекта будет выглядеть так, как показано на рис. 1.

На рис. 1 приведены следующие обозначения: $r_{изл}$ - радиус излучающей апертуры излучателя; $r_{ц}$ - радиус излучающей апертуры цели; R - расстояние между излучающими апертурами; θ , β - углы расходимости излучений; $\Delta r_{пр}$, $\Delta r_{ц}$ - добавки к излучающим апертурам на дальности R с учетом углов расходимости излучений.

Излучатель характеризуется плотностью потока излучения на выходе ($G_{изл}$)

$$G_{изл} = \frac{P_{изл}}{S_{изл}} = \frac{P_{изл}}{\pi \cdot r_{изл}^2}, \quad (1)$$

где $P_{изл}$ - мощность излучения; $S_{изл}$ - площадь апертуры излучения.

мощность переизлучения меньше пришедшей мощности и обратно пропорциональна квадрату расстояния

$$P_{\text{ц}} \rightarrow 1/R^2 \quad (6)$$

Из анализа неосуществимой в реальных условиях ситуации $S'_{\text{изл}} < S_{\text{ц}}$ следует, что

$$P_{\text{ц}} \rightarrow 1/R^0 \quad (7)$$

Рассмотрим соотношения между мнимой излучающей площадью цели ($S'_{\text{ц}}$) в области приемника и площадью приемной апертуры ($S_{\text{пр}}$) и определим зависимость мощности на входе приемника от дальности до цели при условии, что цель излучает сигнал мощностью $P_{\text{ц}}$.

При равенстве анализируемых площадей ($S'_{\text{ц}} = S_{\text{пр}}$) и из выражения (4) следует, что вся мощность переизлученная целью попадает на вход приемника и не зависит от дальности до цели. Тогда условная мощность на входе приемника обратно пропорциональна дальности до цели в нулевой степени

$$P'_{\text{пр}} \rightarrow 1/R^0 \quad (8)$$

Из анализа варианта 5 следует, что при соотношении $S'_{\text{ц}} > S_{\text{пр}}$ условная мощность на входе приемника меньше мощности излучения цели $P_{\text{ц}}$. Тогда условная мощность на входе приемника равна

$$P'_{\text{пр}} \rightarrow 1/R^2 \quad (9)$$

При соотношении $S'_{\text{ц}} < S_{\text{пр}}$ условная мощность сигнала на входе приемника по отношению к вторичному излучению цели не зависит от дальности до цели

$$P'_{\text{пр}} \rightarrow 1/R^0 \quad (10)$$

Учитывая выражения 4 – 10, можно определить пропорциональность мощности на входе приемника при определенных соотношениях излучающих и принимающих площадей и мощности первичного

излучателя от дальности до цели (табл.2).

Для выполнения условия $P'_{\text{пр}} \rightarrow 1/R^0$ или хотя бы $P'_{\text{пр}} \rightarrow 1/R^2$ необходимо: во-первых, иметь излучение с достаточно малым углом расхождения; во-вторых, вторичный источник излучения также должен иметь очень малый угол расходимости. Уникальные лучевые свойства лазерного излучения, где значение угла расходимости колеблется в пределах от единиц до десятков единиц угловых секунд, а также возможность колимации этого излучения с последующим управлением, позволяет решить первую часть задачи. Решение второй части сводится к установке на объекте облучения направленных переизлучателей, способных концентрировать энергию сигнала в направлении пришедшего сигнала.

В случае диффузного рассеяния атмосферы угол расходимости излучения будет равен

$$\theta = \theta_{\text{вых}}/\rho_a, \quad (11)$$

где $\theta_{\text{вых}}$ - угол расходимости на выходе излучателя; ρ_a - коэффициент диффузного рассеяния атмосферы.

С учетом диффузного рассеяния цели угол расходимости переизлученного сигнала равен [1]

$$\beta = \theta/(\rho_a \cdot \rho_{\text{ц}}) \text{ или } \beta = \theta_{\text{вых}}/(\rho_a^2 \cdot \rho_{\text{ц}}), \quad (12)$$

где $\rho_{\text{ц}}$ - коэффициент диффузного рассеяния цели.

Влияние рассеяния и поглощения

Поглощение лазерного излучения атмосферой и целью определяется на основе закона Бугера [1]

$$P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}} \cdot \exp(-\xi \cdot R), \quad (13)$$

где ξ - коэффициент поглощения; R - дальность распространения излучения.

Пропорциональность мощности на входе приемника дальности до цели при заданных соотношениях излучающих и переизлучающих площадей

Излучение		Цель → земля		
		$S'_{ц} > S_{пр}$	$S'_{ц} = S_{пр}$	$S'_{ц} < S_{пр}$
земля	$S'_{изл} > S_{ц}$	$P_{пр} \rightarrow 1/R^4$	$P_{пр} \rightarrow 1/R^2$	$P_{пр} \rightarrow 1/R^2$
↓	$S'_{изл} = S_{ц}$	$P_{пр} \rightarrow 1/R^2$	$P_{пр} \rightarrow 1/R^0$	$P_{пр} \rightarrow 1/R^0$
цель	$S'_{изл} < S_{ц}$	$P_{пр} \rightarrow 1/R^2$	$P_{пр} \rightarrow 1/R^0$	$P_{пр} \rightarrow 1/R^0$

На основе (11) - (13) и с учетом двух поглощающих элементов, при условии, что передающая и приемная апертура разнесены и находятся на дальностях до цели R_1 и R_2 , формула

$$P_{пр} = \frac{P_{изл} \cdot S_{ц} \cdot S_{пр}}{\pi^2 \cdot (r_{изл} + R_1 \cdot \operatorname{tg}(\theta_{вых}/\rho_a))^2} \times \exp(-(\xi_a \cdot (R_1 + R_2) + \xi_{ц} \cdot R_2)) \times \frac{1}{(r_{ц} + R_2 \cdot \operatorname{tg}(\theta_{вых}/\rho_a \cdot \rho_{ц}))^2}, \quad (14)$$

где $\xi_a, \xi_{ц}$ - коэффициенты поглощения атмосферы и цели, соответственно.

Формула (14) действительна для систем оптического диапазона с лазерным излучением, работающих на дальностях до 25 км, которая обусловлена ограничениями закона Бугера.

Выводы

Таким образом, для исключения влияния дальности до цели на мощность принимаемого сигнала необходимо реализовать уменьшение угла расходимости излучаемого сигнала и увеличение диаметра апертуры приемной антенны, а также снижение угла расходимости луча источника переизлучения. Первые два пути реализуются в случае применения в качестве первичного источника излучения лазерных систем. Третий путь реализации связан с установкой на цели переотражателей излучения, позволяющих

переизлучить максимум пришедшей энергии сигнала. Следовательно, для обеспечения заданной дальности действия локатора на основе лазера при выполнении условий повышения мощности отраженного сигнала необходима мощность излучения первичного источника на два порядка меньше, чем при использовании радиосистем.

Полученный результат теоретического анализа может быть реализован с высокой степенью вероятности в системах, работающих на относительно малых расстояниях, в том числе и в системах обеспечения посадки самолетов, что подтверждается компьютерно-физическим моделированием [2].

Литература

1. Устинов Н.Д., Матвеев И.Н., Протопопов В.В. Методы обработки оптических полей в лазерной локации. - М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. - с.272
2. Скалько Я.И., Дукин Г.Ю., Лахно В.И. и др. Компьютерно-физическое моделирование в авиации / Под. ред. проф. В.И. Лахно - Харьков: Септима ЛТД, 2001. - 224 с.

Поступила в редакцию 13.10.03

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Лахно В.И., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского „ХАИ”, г. Харьков