

УДК 53.082.53

## ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА НА ВЕЛИЧИНУ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ ОТРАЖЕНИЯ

Кочурова Д.Н., Калугин А.И., Алалыкин А.С., Альес М.Ю.

*Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук  
Ижевск, Российская Федерация*

**Аннотация.** Для измерения эффективной площади отражения сложных объектов наиболее часто применяется метод сравнения с эталоном. Экспериментально получены значения мощности лазерного излучения, отраженного от модели вертолета, в зависимости от угла рыскания при различных углах тангажа объекта. На величину эффективной площади отражения сильное влияние оказывает наличие у сложного объекта элементов, отражающих зеркально.

**Ключевые слова:** эффективная площадь отражения, лазерная локация, лазерное излучение.

## EFFECT OF THE ORIENTATION OF A COMPLEX OBJECT ON THE VALUE OF THE LASER RADAR CROSS SECTION

Kochurova D., Kalugin A., Alalykin A., Alies M.

*Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences  
Izhevsk, Russian Federation*

**Abstract.** To measurement the laser radar cross section of complex objects, the method of comparison with the reference is used. The values of the power of laser radiation reflected from the helicopter model are experimentally obtained depending on the yaw angle, at different pitch angles of the object. The value of the laser radar cross section is strongly influenced by the presence of specular reflecting elements in a complex object.

**Key words:** laser radar cross section, laser location, laser radiation.

*Адрес для переписки: Кочурова Д.Н., ул. им. Татьяны Барамзиной, Ижевск 34 426067, Российская Федерация  
e-mail: darya310898@gmail.com*

В задачах лазерной локации и дальнометрии измеряемой характеристикой, на основе которой выполняется дальнейший анализ, является принятая фотоприемником мощность лазерного излучения. Она содержит в себе информацию о расстоянии до объекта и об эффективной площади отражения (ЭПО) объекта. ЭПО зависит от типа объекта, его пространственного положения. Вычисление ЭПО простых объектов не вызывает трудностей, но объектом исследования в основном являются сложные объекты, состоящие из неплоских поверхностей, которые могут содержать нескольких элементов из различного материала, разнесенных в пространстве. Нахождение величины эффективной площади отражения таких объектов является сложной задачей, и одним из способов нахождения ЭПО является моделирование объекта исследования и его оптических характеристик. Эффективную площадь отражения  $\sigma$  сложного объекта можно записать в следующем виде [1]:

$$\sigma = \int_S f(x, y, z) \rho_t dS,$$

где  $f(x, y, z)$  – функция, описывающая пространственное распределение интенсивности лазерного излучения ( $I_l = I_0 \cdot f(x, y, z)$  – интенсивность излучения;  $I_0$  – интенсивность на оси пучка);  $\rho_t$  – двунаправленная функция отражательной способности (ДФОС) [2];  $S$  – видимая и освещаемая площадь поверхности объекта.

Поверхность сложных объектов часто невозможно описать аналитической функцией. Также для моделирования необходимо знать ДФОС каждого элемента  $dS$  объекта, получение которой представляется затруднительным, так как  $\rho_t$  содержит много подгоночных параметров, которые подбираются в соответствии с экспериментальными данными. Для экспериментального нахождения величины эффективной площади отражения применяется метод сравнения с эталоном [3]:

$$\sigma = \sigma_3 \frac{P}{P_3},$$

где  $P$  – мощность, отраженная от объекта исследования;  $\sigma_3$  – ЭПО эталона;  $P_3$  – мощность, отраженная от эталона.

Так как отношение  $\sigma_3/P_3$  является постоянной величиной для всех измерений, достаточно экспериментально измерить принятую после отражения от объекта мощность лазерного излучения. При этом ЭПО объекта будет иметь такую же зависимость, что и отраженная мощность. Поэтому для анализа результатов достаточно рассмотреть зависимость мощности  $P$ . Эксперимент проведен с использованием макета измерительного стенда, представленного в работе [4]. Источником лазерного излучения служил DPSS лазерный модуль CPS532 (производства Thorlabs, Inc) с длиной волны 532 нм и выходной мощностью 4,1 мВт. Передающий объектив формирует на расстоянии

4 м гауссов пучок с радиусом 10 см (по падению интенсивности). В качестве фотоприемного устройства был использован кремниевый фотодиодный детектор PH100-SI-NA-OD1-D0 производства GENTEC-EO, Inc. В качестве зондируемого объекта использовалась модель вертолета, представленная на рис. 1, габаритные размеры ДхШхВ 32х25х14 см.

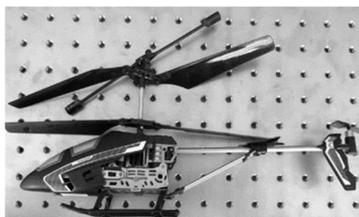
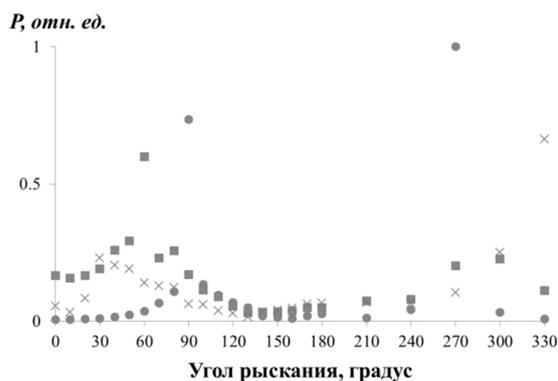


Рисунок 1 – Модель вертолета

Модель имеет сложную форму и состоит из различных материалов: пластик и металл. Вертолет располагался на наклонно-поворотном креплении. Измерения мощности проводились при наклонах вертолета по углу тангажа от  $-60$  до  $90^\circ$ , по углу рыскания от  $0$  до  $360^\circ$ , по углу крена от  $0$  до  $90^\circ$ . Начальное положение вертолета: пучок лазерного излучения направлен на носовую часть вертолета.

На рис. 2 представлены результаты измерений мощности лазерного излучения, отраженной от модели вертолета, в зависимости от угла рыскания для углов тангажа:  $0$ ,  $30$ ,  $60^\circ$ . Для наглядности каждый график нормирован на единицу по максимально принятому значению –  $11.6$  нВт, при этом данные для углов тангажа  $30$  и  $60^\circ$  умножены на  $10$ .



кружки –  $0^\circ$ , квадрат –  $30^\circ$ , крест –  $60^\circ$

Рисунок 2 – График зависимости мощности  $P$ , отраженной от вертолета, от угла рыскания при различных углах тангажа объекта

Как видно из представленных данных при изменении угла тангажа вертолета изменяется значение угла рыскания, при котором наблюдается максимум принятой мощности. Так при угле тангажа  $0^\circ$  максимум принятой мощности наблюдается при углах рыскания  $90$  и  $270^\circ$ , при  $30^\circ$  –  $60$  и  $300^\circ$ , при  $60^\circ$  –  $30$  и  $330^\circ$ . Такая зависимость объясняется тем, что видимая и освещаемая поверхность вертолета при данных ориентациях максимальна. Наличие резких максимумов связано с тем, что у модели вертолета становятся видны и освещены металлические части, которые отражают зеркально (направлено), тем самым вносят большой вклад в значение принятой мощности, по сравнению с диффузно отражающим пластиком. Асимметричность модели вертолета, неточность ее установки на платформу являются возможными причинами отличия максимальных значений мощности при одном угле тангажа. Максимальное значение принятой мощности ( $11.6$  нВт) среди всех измеренных значений наблюдается, когда модель вертолета ориентирована следующим образом: угол рыскания –  $270^\circ$ , угол тангажа –  $0^\circ$ . В этом случае модель вертолета имеет наибольшую видимую площадь вертолета в целом, в том числе наибольшую часть металлических составляющих.

Таким образом, ориентация объекта сильно влияет на величину эффективной площади отражения, в особенности, когда видны и освещены элементы с зеркальным отражением. Зная тип объекта и его ориентацию, имея данные по его эффективной площади отражения, можно из значения отраженной мощности извлечь информацию о расстоянии до объекта, что возможно применять в системах слежения.

#### Литература

1. Steinvall, Ove. Effects of Target Shape and Reflection on Laser Radar Cross Sections / Steinvall Ove // Applied optics. – 2000. – Vol. 39.
2. Zhang, H. Three-Dimensional Laser Radar Range Imagery of Complex Target with Rough Surfaces / Hanlu Zhang and Biao Wang // Progress In Electromagnetics Research M. – 2018. – Vol. 73. – P. 17–24.
3. Измерение лазерно-локационных характеристик воздушных объектов / И. М. Хмаров [и др.] // Труды МАИ. – 2020. – № 115. – С. 5.
4. Макет измерительного стенда для определения эффективной площади отражения объектов сложной формы / С.Ю. Барышникова, Д.Н. Кочурова [и др.] // 13-я Международная научно-техническая конференция «Приборостроение-2020». – Минск: БНТУ. – С. 17–18.