

УДК 681.785

**МАКЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ ОТРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ**  
 Барышникова С.Ю.<sup>1</sup>, Кочурова Д.Н.<sup>1</sup>, Калугин А.И.<sup>2</sup>, Зарипов М.Р.<sup>2</sup>, Антонов Е.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова  
 Ижевск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук  
 Ижевск, Российская Федерация

К настоящему времени большое распространение получили беспилотные летательные аппараты (БЛА) небольших размеров. Радиолокационные системы, применяемые для поиска и сопровождения крупных летательных аппаратов (самолеты и вертолеты гражданской и военной авиации), не способны обеспечить обнаружение и контроль перемещения БЛА в воздушном пространстве. Поиск и обнаружение малоразмерных летательных аппаратов могут быть реализованы за счёт применения более коротких длин волн оптического диапазона, что реализовано в лазерных локационных системах. Подобные устройства применяются также в составе современных прототипов беспилотных автомобилей и служат для обнаружения препятствий и общего сканирования окружающего пространства. Очевидно, что при изготовлении и испытании таких систем необходимо располагать данными о локационных характеристиках обнаруживаемых объектов.

Одной из таких характеристик является эффективная площадь отражения (ЭПО) – площадь некоторой плоской поверхности, расположенной нормально к направлению падающей электромагнитной волны оптического диапазона (плоской или сферической), которая, будучи помещена в точку размещения объекта, отражает такую же мощность излучения, что и данный объект [1, 2]. В связи с этим возникает задача предварительного измерения ЭПО объектов различного типа, отличающихся своей формой, размерами и совокупностью материалов, из которых они изготовлены.

ЭПО отражающей поверхности произвольной формы, расположенной на расстоянии  $r_1$  от источника излучения площадью  $\sigma_S$  и на расстоянии  $r_2$  от приёмника излучения, можно вычислить по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{1}{P_0} \iint F_S \rho(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) \frac{(\mathbf{r}_1 \cdot \mathbf{n})(\mathbf{r}_2 \cdot \mathbf{n})}{r_1 r_2} dS d\sigma_S, \quad (1)$$

где  $F_S$  – плотность мощности излучения, падающего на объект;  $r_1, r_2$  – векторы направлений от источника излучения на объект и от объекта на приёмник излучения соответственно;  $\rho(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$  – отражательная способность объекта в точке падения излучения;  $\mathbf{n}$  – вектор нормали к поверхности в точке падения;  $S$  – площадь отра-

жающей поверхности;  $P_0$  – полная мощность излучения, падающего на объект.

Мощность поступающего от источника на объект излучения можно вычислить следующим образом:

$$P_0 = \frac{1}{r_1^2} \iint F_S dS d\sigma_S. \quad (2)$$

Для решения задачи экспериментального определения ЭПО авторами был предложен макет измерительного стенда, функциональная схема которого приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Функциональная схема макета стенда для измерения ЭПО

Излучение от одиночного источника (или  $N$  источников), управляемого микроконтроллером 1, через объектив 1 (или  $N$  объективов), попадает на исследуемый объект и отражается от него. При этом источники излучения, связанные с объективами образуют передающую систему в составе разработанного макета. Отраженное от исследуемого объекта излучение поступает на входную апертуру приемной системы, проходит после этого последовательно через светофильтр и объектив 2 на фотоприёмное устройство, которое преобразует поступивший на него оптический сигнал в электрический. Данный сигнал считывается с него микроконтроллером 2, обрабатывается и подается на выводное устройство.

Электроэнергия на оба микроконтроллера, а также источник излучения и фотоприёмное устройство подается с блока питания. Микро-

контроллер 1 необходим для контроля мощности источника излучения. Объектив 1 обеспечивает формирование пучка излучения с волновым фронтом требуемой формы (плоской или сферической) и пятна излучения необходимого размера на исследуемом объекте. Светофильтр необходим для выделения длин волн, соответствующих спектральному диапазону излучения источника, что способствует снижению уровня фоновых шумов по сравнению с величиной полезного оптического сигнала. Объектив 2 обеспечивает фокусировку отраженного от объекта излучения на фотоприемном устройстве. Микроконтроллер 2 выполняет статистическую обработку принятого от фотоприемного устройства сигнала, выделяя полезный сигнал с оценкой уровня фоновых шумов, и передает результат на выводное устройство, с которого информация считывается непосредственно человеком. Объект исследования, выходная апертура передающей системы и входная апертура приемной системы заключены в закрытый корпус, который исключает попадание дополнительного фонового излучения в приемную систему.

Авторами предполагается изготовление макета в двух вариантах исполнения: для измерения ЭПО объекта по отраженному излучению с плоским волновым фронтом (первый вариант) и измерения ЭПО по отраженному от объекта излучению со сферическим волновым фронтом (второй вариант). Данные варианты исполнений будут отличаться друг от друга составом передающей системы, а также взаимным расположением передающей и приемной систем и их выходных и входных апертур на корпусе макета.

Формирование пучка с плоским волновым фронтом на объекте исследования в первом варианте исполнения предполагается обеспечить за счет применения в составе передающей системы лазерного источника с коллимирующим объективом, который снизит величину расходимости лазерного излучения и позволит приблизить форму волнового фронта пучка к плоской на расстояниях около 1 метра от выходной апертуры передающей системы. Однако в таком случае размер пятна на объекте будет ограничен размером последнего оптического элемента коллимирующего объектива. При этом сам объект по своим габаритным размерам может превышать сформированное на нем лазерное пятно, что в свою очередь приведет к недостоверным результатам определения ЭПО объекта. Для полного охвата поверхности исследуемого объекта падающим излучением предлагается пятно излучения сформировать в виде совокупности лазерных пятен, создаваемых на объекте несколькими  $N$  лазерными источниками с коллимирующими объективами. При этом каждый

источник имеет гауссово распределение плотности мощности, и в результате размещения источников на определенном расстоянии друг от друга и сложения пучков на поверхности исследуемого объекта сформируется общее пятно с распределением плотности мощности, близким к равномерному (рисунок 2).

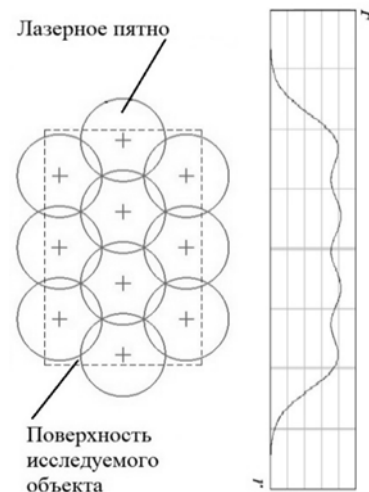


Рисунок 2 – Расположение лазерных источников и вид формируемого ими распределения плотности мощности  $F$  вдоль координаты  $r$

Во втором варианте макета для создания сферического волнового фронта излучения на объекте исследования предполагается использование в составе передающей системы одного лазерного источника с гауссовым распределением плотности мощности и отрицательного объектива, формирующего пучок высокой расходимости, что позволит полностью охватить объект лазерным пятном. При этом оптические оси передающей и приемной систем совпадают.

Предлагаемый авторами макет позволит провести измерения ЭПО в широком спектральном диапазоне оптического излучения (от ультрафиолетовой области до средней области инфракрасного излучения). Это может быть обеспечено путем замены лазерных источников излучения и фотоприёмного устройства в составе макета и применения при необходимости соответствующих систем формирования пучка и приема обратно отраженного излучения.

#### Литература

1. Барышникова С.Ю., Карпиков Б.Н., Калугин А.И., Зарипов М.Р. Измерение эффективной площади отражения сложных объектов // IX Международная конференция по фотонике и информационной оптике Сборник научных трудов. – Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ. Москва, 2020. – С. 459–460.

2. Wyman P.W. Definition of Laser Radar Cross Section. Applied optics, 1968, vol. 7, iss. 1, p. 207, doi: 10.1364/AO.7.000207.