

УДК 535.317.2

ФОРМИРОВАТЕЛЬ ПУЧКОВ БЕССЕЛЕВА ТИПА ДЛЯ СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНОЙ СВЯЗИ В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

А. П. МАКАРЕВИЧ, А. М. ВАРАНЕЦКИЙ

Научный руководитель П. И. РОПОТ, канд. физ.-мат. наук, доц.

Институт физики имени Б. И. Степанова НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Передача информации и энергии на большие расстояния в свободном пространстве с помощью лазерных пучков находит широкое применение. Одной из важнейших задач является достижение максимальной интенсивности поля в плоскости фотоприемника. Однако не всегда гауссов профиль пучка является оптимальным. Одним из способов повышения эффективности таких лазерных систем является использование световых пучков бесселева типа (БСП) [1]. Применение непосредственно для этих целей БСП затруднено из-за необходимости генерировать пучки с предельно малым углом конуса.

Предлагаемое решение этой проблемы состоит в переходе к разработке генератора Фурье-спектра БСП, т. е. генератора кольцевого поля (КП), которое, соответственно, в дальней зоне трансформируется в БСП вследствие дифракции в свободном пространстве [2]. Кроме того, при больших апертурах применение зеркальных телескопов предпочтительнее линзовых из-за отсутствия у них хроматических aberrаций, малого веса и низкой стоимости. Не менее важным является и то, что применение КП, в отличие от гауссова пучка, устраняет потери световой мощности на вторичном зеркале и позволяет пространственно мультиплексировать большое число каналов передачи информации.

Было разработано устройство формирования КП (рис. 1) для системы лазерной связи в свободном пространстве, генерирующее интенсивность поля на оси, вдвое превышающую таковую для гауссова пучка.

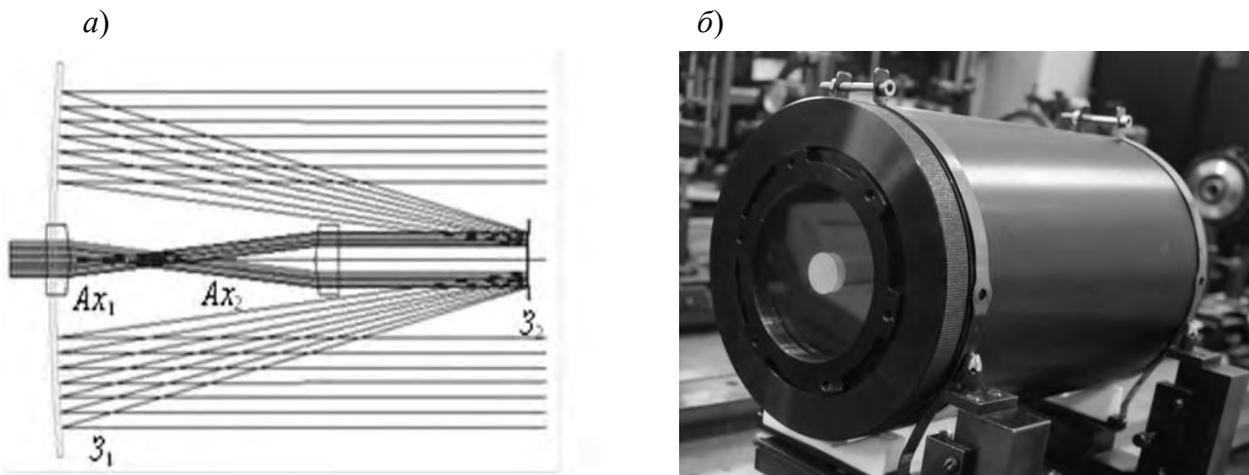


Рис. 1. Оптическая схема на основе конического телескопа, вложенного в зеркальный телескоп Кассегрена (а), и разработанное устройство на ее основе (б)

Исходя из заданных технических характеристик (габариты – не более 220 мм; вес – не более 8 кг; источник света – твердотельный импульсный лазер с параметрами: длина излучения – 1064 нм, диаметр пучка – 5 мм, качество пучка $M^2 \approx 6$; заданное поперечное распределение профиля интенсивности лазерного пучка с осевой интенсивностью вдвое выше, чем для ГП на расстояниях от 10 до 100 км), предложена оптимальная схема формирователя управляемого лазерного пучка на большие расстояния. Схема базируется на использовании в ближнем поле генератора КП, объединенного с акустооптическим модулятором и зеркальным телескопом. Габаритный расчет оптической схемы проводился методом лучевой оптики. Он позволил провести оценку размеров светового пучка в ближней зоне, т. к. на небольших расстояниях дифракцией можно пренебречь. Далее результаты уточнялись дополнительными расчетами и сравнением с гауссовыми и лаггерр-гауссовыми пучками на основе дифракционных интегралов.

Устройство состоит из конического телескопа на основе двух аксиконов A_{x1} и A_{x2} (диаметр – $\frac{1}{2}$ " , угол при основании – 10°). Расстояние между аксиконом регулируется в пределах 65...70 мм. Конический телескоп вложен в зеркальный телескоп Кассегрена с главным параболическим зеркалом Z_1 (радиус кривизны $R_1 = 488$ мм, фокусное расстояние $f_1 = 244$ мм, диаметр $D_1 = 85$ мм, диаметр отверстия $d_1 = 18$ мм) и малым гиперболическим зеркалом Z_2 (радиус кривизны $R_2 = 118$ мм, фокусное расстояние $f_2 = 59$ мм, диаметр $D_2 = 18$ мм). Корпус устройства и все металлические элементы были изготовлены из сплава с малым тепловым расширением. По технологии три оптических элемента (главное зеркало, малое зеркало и второй аксикон) крепятся к металлической оправе клеевым составом марки К-300-61. Крепление главного зеркала к корпусу осуществляется вклеиванием через лепестковую систему развязки с введением упорных шайб. В качестве юстировочного узла для главного зеркала применен сферический шарнир. Длина устройства определялась размером четырех направляющих стержней из стали 36 Н и была равна 215 мм.

На данное устройство был разработан комплект конструкторской документации (КД) и приведены лабораторные испытания с применением методики Фурье-процессора, имитирующей распространение пучка в свободной атмосфере. Испытания подтвердили относительную устойчивость профиля формируемых пучков БСП к дефокусировке зеркального телескопа. При различных значениях дефокусировки интенсивность осевого максимума сохраняется высокой. В зависимости от дистанции распространения пучка при сохранении характеристик его периферии она в 1,5–2 раза выше, чем для гауссова пучка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Long-distance Bessel beam propagation through Kolmogorov turbulence / P. Birch [et al.] // Journal Opt. Soc. Am. A 32. – 2015. – P. 2066–2073.
2. Forming of Bessel beams from annular fields on large distances / N. A. Khilo [et al.] // Optics Communication. – 2022. – Vol. 508. – P. 127779.