

2. Девойно, О.Г. Обеспечение ресурсных параметров ответственных элементов механических трансмиссий с использованием поверхностных слоев, формируемых лазерными технологиями / О.Г. Девойно, И.В. Швец // Теоретическая и прикладная механика:

международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет; ред. кол.: А.В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 266–270.

УДК 618

ФОРМИРОВАТЕЛЬ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА БЕССЕЛЕВА ТИПА С ЗАДАНЫМ ПРОФИЛЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ

Макаревич А.П., Варанецкий А.М.

Институт физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Разработана оптическая схема формирования лазерных пучков бесселева типа, пригодная для дальней оптической связи в свободном пространстве. Изготовлен телескоп формирующий заданный профилем распределения интенсивности пучка в дальней зоне.

Ключевые слова: зеркально-линзовая оптическая система, бесселевы световые пучки, аксикон.

LASER BESSEL-LIKE BEAM FORMER WITH A SPECIFIED INTENSITY DISTRIBUTION PROFILE

Makarevich A.P., Varanetski A.M.

Institute of Physics of the NAS of Belarus
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The optical scheme for formation of laser Bessel-like beams used for remote optical communication in free space is developed. The telescope forming a specified intensity distribution profile is manufactured.

Keywords: mirror-lens optical system, Bessel light beams, axicon.

Адрес для переписки: Макаревич А.П., пр. Независимости, 68-2, г. Минск, 220072, Республика Беларусь
e-mail: a.makarevich@ifanbel.bas-net.by

Бесселевы световые пучки представляют практический интерес для реализации эффективных систем оптической связи в свободном пространстве на большие дистанции [1; 2]. Для получения требуемого профиля распределения интенсивности пучка в дальней зоне необходима оптическая система заданной кратности с подходящей остаточной аберрацией в уже сформированном кольцевом поле. Ключевыми элементами таких оптических схем являются асферические линзы и аксиконы. Основным недостатком таких оптических систем является относительная сложность и дороговизна изготовления асферических поверхностей большой апертуры, а наличие формирователя кольцевого поля и расширителя пучка в системе существенно удлиняют ее линейный размер.

Перед нами стояла задача разработать формирователь лазерного пучка бесселева типа с заданным профилем распределения интенсивности в дальней зоне (100 км): диаметр пучка 30м; осевая в интенсивность в 1,5–2 раза выше таковой для гауссова пучка; периферия пучка разбита на четыре зоны с заданным процентом энергии в каждой. Проектирование механической части телескопа предполагало свои особенности: габариты системы не должны превышать 130 мм в диаметре и 220 мм в длину; вес не более 5,5 кг; температурная стабильность должна сохраняться от $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $70\text{ }^{\circ}\text{C}$; устойчивость к перегрузкам не хуже 4g.

С учетом данных требований был предложен подход по сокращению линейного размера устройства и замене асферической оптики на сферическую. За счет некоторого усложнения

оптической схемы длину телескопа удалось сократить почти вдвое, существенно уменьшить вес и осуществить компенсацию аберраций одних сферических поверхностей другими до приемлемого уровня. Эволюция конструкции формирователя лазерного пучка проходила по схеме: классическая схема телескопа Кассегрена с параболическим первичным и гиперболическим вторичным зеркалом, схема Максутава со сферическими зеркалами и мениском-компенсатором, оптимизированная зеркально-линзовая схема с плоским зеркалом и одним аксиконом (рисунок 1).

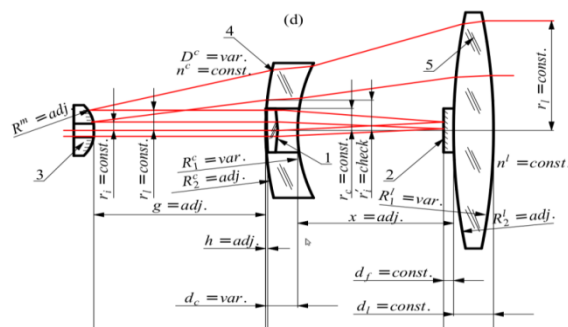


Рисунок 1 – Схема зеркально-линзового формирователя лазерного пучка: 1 – аксикон; 2 – плоское зеркало; 3 – сферическое зеркало; 4 – мениск-компенсатор; 5 – сферическая линза

Для оформления окончательной конструкции зеркально-линзовой оптической схемы мениск-компенсатор был перемещен на место расположения аксикона, который в этом случае вклеивался в отверстие данного элемента, что исключило применение крепежных элементов для него.

При этом материал оптических элементов использовался один и тот же, что существенно уменьшило термические деформации этой пары в широком диапазоне температур. Проблема монтажа плоского зеркала на выходной сферической линзе телескопа решалась аналогично. Для клейки оптических элементов применялся термостойкий малоусадочный клей К300-61.

Ниже в таблице 1 приведен результат расчета основных параметров зеркально-линзовой оптической схемы формирователя лазерного пучка бесселева типа с заданным профилем распределения интенсивности.

Таблица 1. Параметры оптической схемы формирователя лазерного пучка бесселева типа

Фиксируемые параметры			Расчетные параметры		
№ пп	Обозначение	значение, мм	№ пп	Обозначение	значение, мм
1	r_i	3,5	1	R^m	82,0
2	r_0	7,0	2	g	107,5
3	r_l	50,0	3	R^c_2	-2754,0
4	r_c	4,0	4	d_c	9,0
5	d_f	3,0	5	R^c_1	92,9
6	d_l	20,0	6	x	64,03
7	L	200,0	7	R^c_2	579,4
8	l	70,0	8	h	2,0
9	$n^c(\text{SiO}_2)$	1.450	9	R^c_1	-136,14
10	$n^c(\text{TF3})$	1,693	10	D^c	-1/200

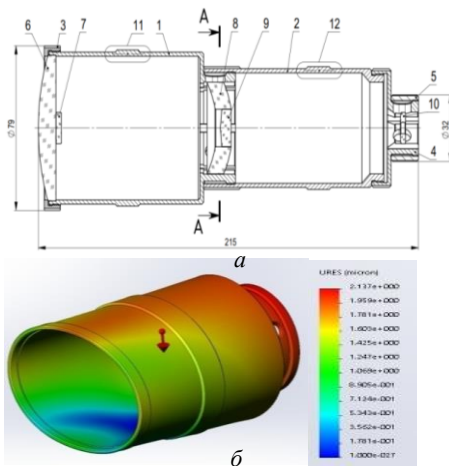


Рисунок 2 – Сборочная схема телескопа (а) и результат расчета на прочность в среде SOLID WORKS (б)

Предъявляемые к механической части телескопа требования выполнялись с применением следующих технических решений:

- ограничения по габаритам и весу – за счет зеркально-линзовой оптической схемы с двукратным поворотом луча (рисунок 1);
- термостабильность – выбором материала корпуса и подбором оптических материалов с взаимной компенсацией влияния температуры;
- устойчивость к перегрузке – конструктивными элементами корпуса с учетом расчета на жесткость и способом крепления оптики;
- устойчивость к перепаду давлений – отказом от полной герметичности конструкции с обеспечением зазоров между элементами для связи с атмосферой;

– юстируемость оптики в ограниченном объеме путем применения наружной оснастки, которая после юстировки и клейки демонтируется и не является частью телескопа.

Подготовленный комплект конструкторской документации включает в себя: пояснительную записку, оптическую схему, геометрический расчет телескопа, расчет на прочность и термостабильность, комплект чертежей оптических элементов и деталей корпуса телескопа с литерой «О»; методику юстировки и методику испытаний.

Корпус телескопа (рисунок 2, а) состоит из двух цилиндрических трубок, большой 1 и малой 2, жестко скрепленных между собой резьбовым соединением. В трубку 1 со стороны большего диаметра с помощью резьбового кольца 3 закрепляется сферическая линза 6 на задней поверхности которой вклеено плоское зеркало 7. Для фиксации линзы 6 в трубе 1 используется гайка 3. Со стороны меньшего диаметра трубки 1 вклеивается мениск-компенсатор 8 с вклеенным в него аксионом 9. Сферическое выпуклое зеркало 10 при помощи клея крепится к крышке 4, которая в свою очередь резьбовым соединением закрепляется в трубке 2. Эластичный клей, устойчивый к большому диапазону температур, предотвращает смещения оптических элементов вследствие перегрузок. Крепление самого телескопа производится посредством выступов 11 и 12, в трубках 1 и 2. Все оптические элементы (кроме линзы 6) имеют возможность юстировки по 5-ти степеням свободы за счет наружной оснастки (на рисунке 2 не показана), связываемой с линзами через съемные винты. После юстировки линзы фиксируются в корпусе телескопа путем подачи клея через технологические пазы трубок 1 и 2. После склеивания винты и оснастка убираются, что позволяет существенно снизить вес телескопа. Технологические отверстия трубки 1 со стороны меньшего диаметра закрываются трубкой 2, технологические отверстия крышки 4 закрываются гайкой 5, одновременно выполняющей и противопопыльную защиту внутреннего объема телескопа.

На основании разработанной конструкторской документации были изготовлены элементы оптической схемы и детали корпуса телескопа, произведена сборка и юстировка. В соответствии с разработанной методикой проведены испытания системы, результаты которых подтвердили правильность выбранного подхода к схемотехнике оптической части и проектированию механической части изделия.

Литература

1. McGloin, D. Bessel beams: diffraction in a new light / D. McGloin, K. Dholakia // Contemporary Physics. – 2005. – V. 46. – P. 15–28.
2. Mphuthi, N. Are Bessel beams resilient to aberrations and turbulence / N. Mphuthi, R. Botha // J. Opt. Soc. Am. – 2018. – V. A 35. – P. 1021–1027.