

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ВВОДА ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ СВЕТОДИОДА
В МНОГОМОДОВОЕ ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО**

**DEFINITIONS OF PARAMETERS OF THE DEVICE POSITIONING
OF INPUT BEAMING FROM A LIGHT-EMITTING DIODE
IN MULTIMODE OPTICAL FIBER**

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы разработки устройства позиционирования оптических волокон кабеля связи и методики расчета рабочих параметров данного устройства с расширенными функциональными возможностями.

Summary. In the article the problems of mining of the device positioning of optic fibers a cable of communication and technique of calculation parameters of the given device with enriched functionality are reviewed.

В последние годы на телекоммуникационных сетях интенсивно внедряются оптические системы, оптические кабели связи, которые позволяют улучшить технические и эксплуатационные характеристики телекоммуникационных систем и сетей в целом. Создание высоконадежных кабельных систем оптической связи стало возможным после разработки оптических волокон (ОВ) с малыми потерями. Уникальные качества – высокая пропускная способность (несущая частота порядка 10^{14} Гц), малое затухание и невосприимчивость к электромагнитным помехам – стимулировали разработку промышленных технологий производства оптических кабелей, разработку специализированного оборудования и элементной базы ВОСП: излучателей, модуляторов, фотоприемников, оптических соединителей, разъемных соединителей, ответвителей и разветвителей, переключателей оптических каналов, оптических вентилях и других оптоэлектронных компонентов. Актуальными задачами теоретического исследования компонентов ВОСП является анализ принципа функционирования, основных характеристик и направления развития компонентов ВОСП, позволяющих объединить источник светового излучения, волоконно-оптический кабель и фотоприемник в волоконно-оптическую линию связи (ВОЛС).

Для соединения элементов ВОСП между собой используются простые и надежные соединители оптических волокон друг с другом (ОВ-ОВ), с излучателями (ИИ-ОВ), фотодетекторами (ОВ-ФД) и полосковыми световодами (ОВ-ПС). Оптические соединители (ОС) представляют собой один из самых ответственных классов пассивных компонентов для ВОСП. От их качества зависят предельные возможности и сроки эксплуатации систем

Но наряду с этим возникают определенные проблемы, к числу которых можно отнести потери части энергии оптического сигнала в точках соединения систем связи и оптической среды передачи. Поэтому задача наведения оптического луча в процессе передачи информации требует достаточно быстрого изменения направления луча по некоторому периодическому (поиск) или аперидическому (слежение) закону. Эта задача выполняется оптическими устройствами позиционирования – дефлекторами.

По характеру движения оптического луча известны методы управления *непрерывные* и *дискретные*; по физическим принципам отклонения луча – *механические* и *электрические*.

Конструкции этих известных устройств заметно сложны, а также они не обеспечивают достаточно высокую точность позиционирования оптического сигнала в широких пределах при передаче по каналам связи, так как в процессе коммутации необходима автоматическая настройка (наведение) положения оптического луча относительно поверхности торцевого сечения оптического волокна в вертикальном и горизонтальном направлениях, а также возможности изменения интенсивности излучения (модуляции сигнала) для обеспечения падения луча на границу сердцевины с оболочкой ОВ, для попадания всей энергии излучения, для отражения внутрь сердцевины ОВ.

В многомодовых волоконно-оптических линиях связи, в качестве излучателя, используется в основном поверхностный излучающий светодиод. Поскольку поглощение в излучающей P -области диода очень велико, вывод света ведут через n -область [1]. Повышение эффективности ввода излучения в волокно может быть обеспечено применением полированной полусферы или созданием углубления в кристалле поверхностного диода для приближения торца волокна к активной области. Известные устройства позиционирования обладают потерями на вводе излучения поверхностного диода в ОВ волокно оптической линии связи, ввиду того, что создание углубления в кристалле поверхностного диода излучения, из-за сложности технологии точности изготовления углубления, приводит к несоосности установки относительно поверхностного диода излучения [1, 2, 3].

Однако для уменьшения потери энергии оптического луча в процессе передачи информации, упрощения конструкции, повышения точности позиционирования, а также расширения функциональных возможностей устройств позиционирования возникла необходимость разработки оптимальной конструкции устройства позиционирования и методики расчёта его рабочих параметров.

Первая часть этой задачи была выполнена авторами этой статьи в [4], а вторая приводится ниже.

Целью данной работы является определение рабочих параметров ОЭУП новой конструкции [4], которая позволяет упростить механическую конструкцию известных оптических устройств позиционирования, уменьшить потери на вводе излучения в МОВ

На рис. 1 приведена схема конструкции разработанного оптоэлектронного устройства позиционирования ОЭУП многомодовых оптических волокон (МОВ) кабеля связи [4]. Устройство содержит пьезоэлектрический пустотелый цилиндр – 1. Указанный цилиндр в средней части закреплен к основанию с помощью крепежной колодки – 2, а с внутренней стороны пьезоэлектрический цилиндр состоит из двух секций электродов – 3,4, разделенных друг от друга изоляционной полосой – 5. На указанные секции подается постоянное напряжение питания с помощью электрических выводов – 6, 7. К пьезоэлектрическому пустотелому цилиндру со стороны свободных концов жестко закреплены направляющие – 8, 9 оптических волокон – 10, 11 кабелей связи – 12, 13, а к внешней боковой стороне пьезоэлектрического цилиндра склеена или сварена металлическая пластина – 14.

На рис. 2, а, б – приведено устройство позиционирования оптических волокон кабеля связи с центральным углом “ α ” и геометрические размеры пьезоэлектрического цилиндра.

В начале от источника постоянного напряжения (в рис. 1, 2, а, б источник напряжения не показан) напряжение питания с помощью электрических выводов-6 подается на электронную секцию – 3 и общую электрометаллическую пластину – 14. При совпадении полярностей источника постоянного напряжения и электродов секции – 3 пьезоэлектрического цилиндра – 1, в последнем происходит продольная деформация удлинения, в результате чего свободный конец секции – 3 с направляющей – 8 изгибается в противоположную сторону от центра пьезоэлектрического цилиндра – 1 в радиальном направлении. То же самое в вышеописанном последовательности происходит при изменении, т.е. обратной полярности электродов секции – 3 и источника постоянного напряжения, приводящее к деформации сжатия секции – 3, в результате чего секция – 3 с направляющей-8 изгибается в сторону центра пьезоэлектрического цилиндра-1 в радиальном направлении. Аналогично вышеописанному, напряжение питания подается на электроды секции – 4 с помощью электрических выводов – 7, при этом происходит смещение свободного конца секции – 4 с направляющей – 9. Таким образом, устройство обеспечивает плавным регулированием совмещение центров оптических волокон – 10, 11 кабелей связи – 12, 13.

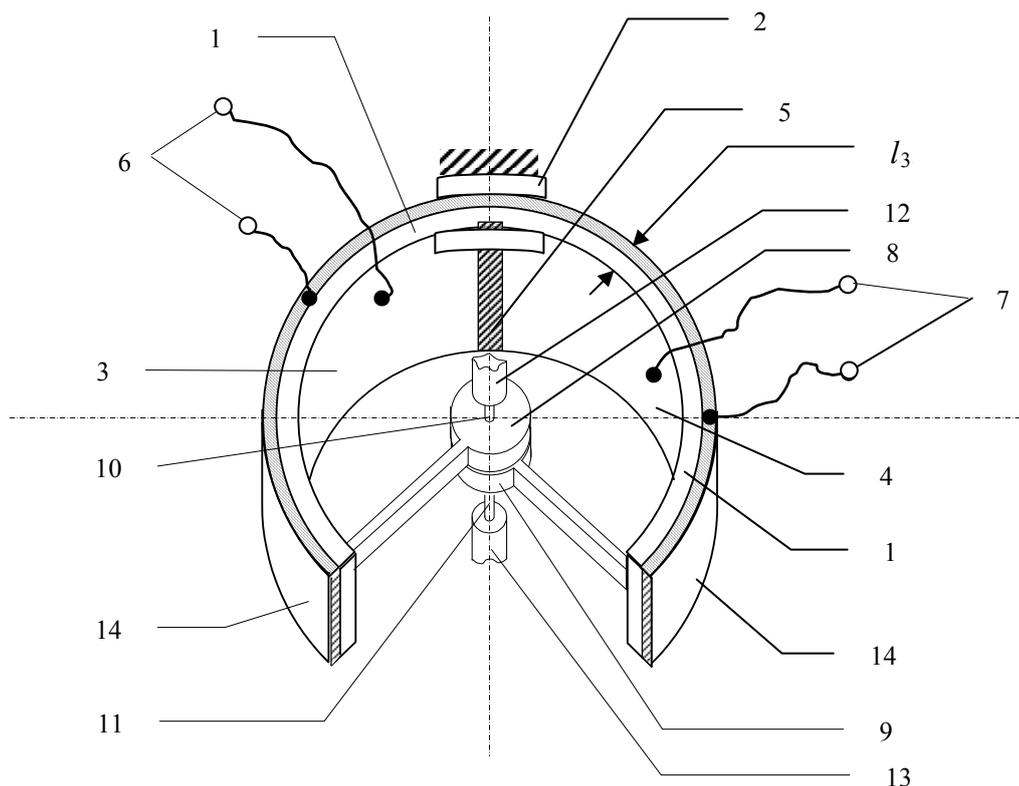


Рисунок 1 – Схема конструкции устройства позиционирования оптических волокон кабеля связи

Точность позиционирования оптического излучения в предлагаемой ОЭУП зависит от амплитуды изгиба деформации пьезоэлемента пустотелого цилиндра (рис. 2), т.е. рабочих параметров этого устройства.

Определение рабочих параметров данного устройства позиционирования ввода излучения из светодиода (СД) в МОВ сводится к следующему.

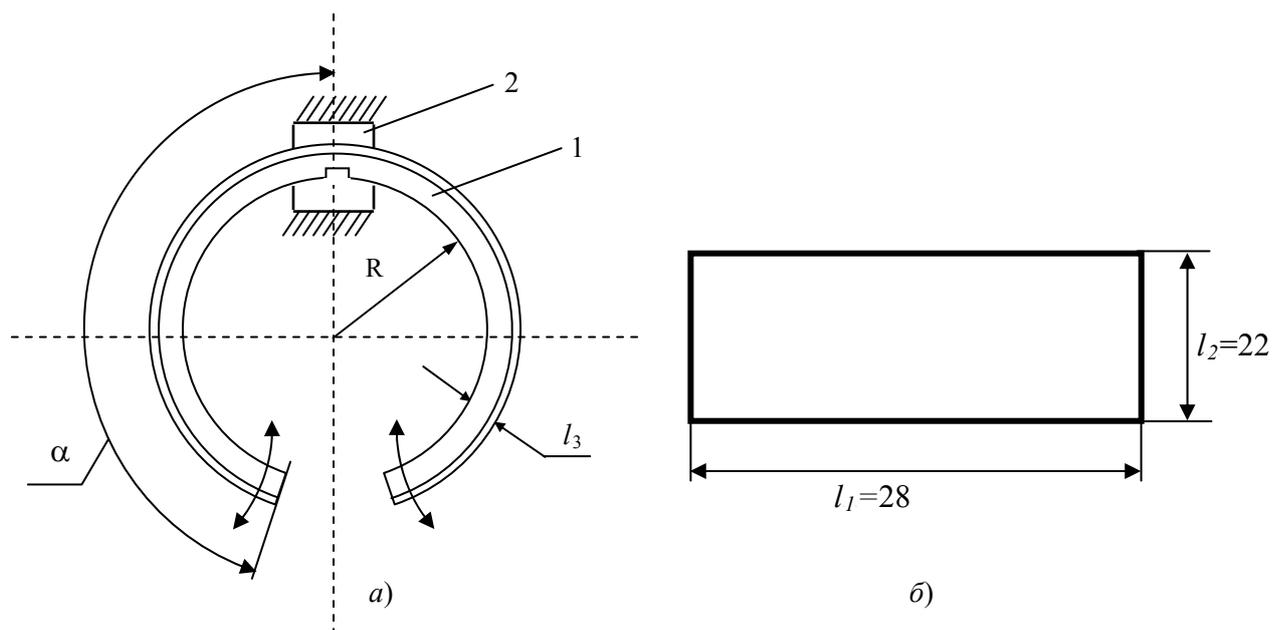


Рисунок 2 – Вид сверху устройства позиционирования оптических волокон кабеля связи с центральным углом “ α ” (а); геометрические размеры пьезоэлектрического цилиндра (б)

Согласно [5] амплитуду изгиба деформации пьезоэлемента пустотелого цилиндра можно определить следующим выражением:

$$\Delta = \frac{F_{\text{ст ус}}}{E_{\text{ю}} \cdot J} \left(\frac{R^3 \alpha}{2} - \frac{R^3}{4} \sin 2\alpha \right). \quad (1)$$

Статическое усилие пьезоэлектрического цилиндра можно определить по формуле [6]:

$$F_{\text{ст ус}} = K_{\text{ж } \Sigma} \cdot \Delta, \quad (2)$$

где $F_{\text{ст ус}}$ – статическое усилие изгиба пьезоэлектрического цилиндра ОЭУП, (Н);

$E_{\text{ю}}$ – модуль упругости (модуль Юнга) пьезоэлемента и для пьезокерамики марки ЦТБС-3 равен $E_{\text{ю}} = 0,7 \cdot 10^{11}$ Н/м²;

Δ – амплитуда деформации (м);

α – центральный угол, $\alpha = 150^\circ = 2,6$ рад.;

J – момент инерции пьезоэлектрического цилиндра, м⁴;

R – радиус пьезоэлектрического цилиндра, м;

$K_{\text{ж } \Sigma}$ – суммарная жесткость пьезоэлемента, Н/м.

Жесткость пьезоэлемента обусловлена слоем пьезокерамики и слоем металлической пластины и при этом суммарная жесткость определяется следующим выражением:

$$K_{\text{ж } \Sigma} = K_{\text{ж П}} + K_{\text{ж мет}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{ж } \Sigma}$ – суммарная жесткость пьезоэлемента, Н/м;

$K_{\text{ж П}}$ – жесткость пьезоэлемента, Н/м;

$K_{\text{ж мет}}$ – жесткость металлической пластины, Н/м.

Статическое усиление изгиба пьезоэлектрического цилиндра ОЭУП можем определить из следующей зависимости [7, 8]

$$F_{\text{ст ус}} = U_{\text{возб}} \cdot l_2 \cdot d_{31} \cdot E_{\text{ю}}. \quad (4)$$

где $U_{\text{возб}}$ – постоянное напряжение возбуждения пьезоэлектрического цилиндра;

l_2 – ширина пьезоэлектрического цилиндра, м;

d_{31} – пьезоэлектрический модуль, м/в.

Момент инерции пьезоэлектрического цилиндра определяется следующим выражением:

$$J = \frac{l_2 \cdot l_3^3}{12}, \quad (5)$$

где l_3 – толщина пьезоэлектрического цилиндра.

В окончательном виде амплитуда деформации через поданное напряжение питания концов пьезоцилиндра (4) будет выражаться в виде:

$$\Delta = \frac{U_{\text{возб}} \cdot l_2 \cdot d_{31} \cdot E_{\text{ю}}}{E_{\text{ю}} \cdot \frac{l_2 \cdot l_3^3}{12}} \left(\frac{R^3 \alpha}{2} - \frac{R^3}{4} \sin 2\alpha \right) = \frac{12 \cdot U_{\text{возб}} \cdot d_{31}}{l_3^3} \left(\frac{R^3 \alpha}{2} - \frac{R^3}{4} \sin 2\alpha \right). \quad (6)$$

В качестве примера оценим амплитуду изгиба пьезоэлемента ОЭУП, если:

$U_{\text{возб}} = 60$ В, $d_{31} = 160 \cdot 10^{-12}$ (м/В) для пьезоэлемента марки ЦТБС-3,

$l_1 = 2,8 \cdot 10^{-2}$ м, $l_2 = 2,2 \cdot 10^{-2}$ м, $l_3 = 4 \cdot 10^{-2}$ м; $R = 0,7 \cdot 10^{-2}$ (м), $\alpha = 150^\circ = 2,6$ рад.

Тогда:

$$\Delta = \frac{12 \cdot 60 \cdot 160 \cdot 10^{-12}}{(4 \cdot 10^{-2})^3} \cdot 2,8 \cdot 10^{-7} = 1,2 \text{ мм.}$$

Исследования, проведённые авторами данной работы, показали, что такая амплитуда изгиба пьезоэлемента ОЭУП, выполненного на базе пьезоэлемента ЦТБС-3, даёт потери на вводе излучения в МОВ, равные (7...10) дБ, что на 35...40% меньше потерь в известных устройствах позиционирования.

В заключении данной работы можно отметить, что:

- на основании предложенного метода расчёта рабочих параметров пьезоэлектрического цилиндра нового ОЭУП можно получать заданные потери на вводе излучения в МОВ;
- результаты экспериментальных исследований работы ОЭУП, выполненный на базе пьезоэлемента марки ЦТБС-3, показали, что оно даёт достаточно высокую точность позиционирования, обеспечивающую потери на вводе в МОВ, меньше, чем в известных устройствах;
- разработанный метод определения рабочих параметров пьезоэлектрического цилиндра может быть использован при разработке и совершенствовании новых конструкций ОЭУП.

Литература

1. *Гроднев И.И.* Волоконно-оптические линии связи. – М.: Радио и связь, 1990. – С. 223.
2. *Семёнов Н.А.* Потери при вводе энергии в оптический кабель // Электросвязь. – 1980. – №12. – С. 66.
3. *Корнейчук В.И., Макаров Т.В., Панфилов И.П., Проживальский О.П.* Проектирование волоконно-оптических систем передачи. – Одесса: ОЭИС, 1991. – С. 388.
4. *Мансуров Т.М., Бейбалаев Г.Б.* Оптоэлектронное устройство позиционирования. Положительное решение о выдаче Патента Азербайджанской Республики за №а 2006 0037 от 26.04.2007.
5. *Витеберг М.И.* Расчет электромагнитных реле. – М.: Энергия, 1966. – С. 320.
6. *Тимощенко С.П.* Колебания в инженерном деле. – М.: Наука, 1967. – С. 150.
7. *Вишневский В.С., Карташев И.А., Лавриенко В.В.* Пьезоэлектрические двигатели. – М.: Энергия, 1980. – С. 200.
8. *Смажевская Е.Г., Фельдман И.Б.* Пьезоэлектрическая керамика. – М.: Сов. радио, 1971.