

**ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ПОЛЫМИ ЦВЕТОВОДАМИ С  
ПРОДОЛЬНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ПОДВИЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ**

*В данной статье рассмотрен оптоэлектронный преобразователь с полым световодом с продольным перемещением подвижного элемента, рассмотрена его математическая модель и приведен расчет светового потока падающего на приемник излучения.*

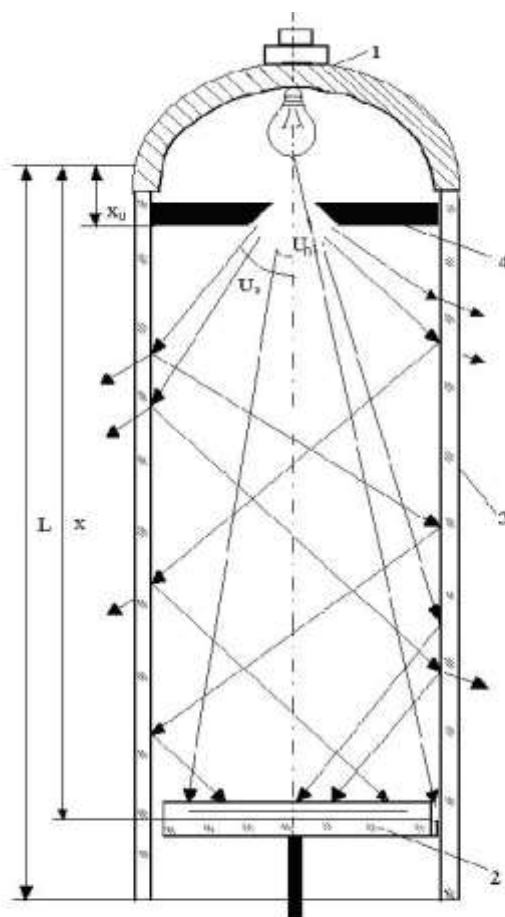
*Ключевые слова: оптоэлектронные преобразователи, математическая модель, излучение, световод.*

**OPTOELECTRONIC CONVERTERS WITH HOLLOW FIBERS WITH A  
LONGITUDINAL MOVEMENT OF THE MOVABLE ELEMENTS  
FOR MEASURING THE LIQUID LEVEL MONITORING SYSTEMS**

*In this article the optoelectronic transducer with a hollow waveguide with a longitudinal movement of the movable member, it examined the mathematical model and a calculation of the luminous flux incident on the radiation detector.*

*Keywords: optoelectronic converters, mathematical model, the radiation, the light guide.*

На рис.1. приведена схема оптоэлектронного преобразователя с полым световодом (ОППС) с сосредоточенным источником излучения 1, у которого полый световод может быть длиной от  $10 \cdot 10^{-3}$  м до 1,0 м и более.



1-источник излучения; 2-приемник излучения;  
3-полюй световод; 4-диафрагма  
Рис. 1. Схема ОППС с сосредоточенным источником излучения

В конструкцию модели ОППС входит полюй (обычно трубчатый) световод 2 (из органического, кварцевого стекла или полированного тонкостенного дюралюминия), сосредоточенный источник излучения 1, приемники излучения 3. Последние располагаются в полости световода и свободно могут перемещаться вдоль оси световода. Световой поток от источника излучения 1 через круговую диафрагму 4 распространяется вдоль полого световода 2.

Процесс распределения светового потока от сосредоточенного источника излучения в полом световоде существенно отличается от процессов распределения оптического излучения от распределенного источника излучения. Это объясняется тем, что кроме прямого светового потока на приемник излучения 3 падает поток, образованный лучами, отраженными от внутренней поверхности полого световода. Кроме того, световой поток от источника излучения (ИИ), проходя вдоль длинного полого световода, непрерывно поглощается средой, заполняющей полость между источником и приемником излучения и материалом полого световода. Расчет распределения светового потока  $\Phi(x)$  в ОППС, как указывалось выше, представляет весьма сложную задачу, так как  $\Phi(x)$  зависит от длины  $L$ , диаметра  $D$  световода, коэффициентов отражения  $\rho$ , поглощения  $K_x, K_y$ , от размеров и характера ИИ и места его установки в световоде и от других факторов.

Рассмотрим построение математической модели данного ОППС.

Для данного типа ОППС в [1] отдельно рассматривается световой поток  $\Phi_{пр}(x)$  без отражения (прямой) и световой поток  $\Phi_{отр}(x)$ , отраженный от боковой поверхности полого световода, которые являются составляющими суммарного потока  $\Phi_{\Sigma}(x)$ , падающего на приемник излучения (ПИ):

$$\Phi_{\Sigma}(x) = \Phi_{np}(x) + \Phi_{отр}(x). \quad (1.1)$$

Для анализа распределения прямого светового потока в простых и сложных (составных) световодах необходимо использовать известное выражение, связывающее силу света  $I_0$  с потоком  $\Phi(x)$ , который распространяется от ИИ в пределах телесного угла  $\Omega$ :

$$I_0 = \Phi(x) / \Omega. \quad (1.2)$$

Уравнение для распределения прямого потока вдоль полого световода с учетом поглощения светового потока может быть записано в виде [9,10,11]:

$$\Phi_{np}(x) = I_0 \Omega \exp(-K_x x) = I_0 \frac{S}{x^2} \exp(-K_x x). \quad (1.3)$$

Несколько сложнее обстоит вопрос определения отраженного светового потока  $\Phi_{отр}(x)$  и потока  $\Phi_{прош}(x)$ , прошедшего через стенку (или поглощенного внутренней стенкой).

Пусть ИИ помещен на оси и дает пучок лучей с малой апертурой.

Рассмотрим прохождение по полому световоду длиной  $L$  одного луча из этого пучка. Длина пути луча, вошедшего в световод под углом  $u$  к оси, равна:

$$L_n = L / \cos u. \quad (1.4)$$

Число отражений такого луча от стенки полого световода [1]:

$$\eta = \frac{L}{D} \operatorname{tg} u. \quad (1.5)$$

При каждом отражении луч частично поглощается стенкой полого световода или проходит через нее. Если принять за  $\rho$  коэффициент отражения внутренней стенки полого световода, то  $(1-\rho)$  будет определять часть световой энергии, прошедшей через стенку полого световода, т.е. коэффициент  $K_y$  равен:

$$K_y = 1 - \rho. \quad (1.6)$$

В общем случае коэффициенты  $\rho$  и  $K_y$ , как было указано выше, являются функциями угла падения лучей, однако учет этой зависимости существенно усложняет расчет и поэтому в дальнейшем вводятся расчетные значения  $\rho_{рас}$  и  $K_{y\ рас}$ .

Полный световой поток распространяется в полом световоде, имея входной телесный угол  $\Omega_{вх}$ , поэтому:

$$\Phi_{\Sigma}(x) = I_0 \int_0^{\Omega_x(x)} d\Omega. \quad (1.7)$$

Так как он состоит из прямого и отраженного потоков, то:

$$\Phi_{\Sigma}(x) = I_0 \left[ \int_0^{\Omega_x(x)} d\Omega + \int_{\Omega_x(x)}^{\Omega_{вх}(x)} d\Omega \right]. \quad (1.8)$$

Таким образом, падающий (до отражения) на внутреннюю поверхность стенки полого световода световой поток определяется из выражения:

$$\Phi_{пад}(x) = I_0 \int_{\Omega_x(x)}^{\Omega_{вх}(x)} d\Omega = I_0 S \left( \frac{1}{x_0^2} - \frac{1}{x^2} \right), \quad (1.9)$$

где  $x_0$  - начало диапазона перемещений, для практических конструкций ОППС диапазон перемещений начинается не с  $x=0$  (что совпадает с местом установки ИИ), а с  $x=x_0$  (которое определяется исходя из места установки круговой диафрагмы).

Достаточно точную для практических расчетов формулу для определения отраженного светового потока можно получить из выражения:

$$\Phi_{\text{отр}}(x) = \Phi_{\text{пад}}(x) \rho_{\text{рас}}. \quad (1.10)$$

С учетом числа отражений расчетный коэффициент отражения [1]:

$$\rho_{\text{рас}} = \int_{u_x}^{u_0} \rho^{\frac{x}{D} \operatorname{tg} u} du, \quad (1.11)$$

где  $u_0 = \operatorname{arctg} \frac{D}{2x_0}$ ;  $u_x = \operatorname{arctg} \frac{D}{2x}$ .

Для коэффициента  $K_y$  можно записать:

$$K_{y \text{ рас}} = 1 - \rho_{\text{рас}}. \quad (1.12)$$

С учетом вышеизложенного распределение светового потока, прошедшего через боковую стену полого световода, определяется из выражения:

$$\Phi_{\text{прош}}(x) = I_0 S \left( \frac{1}{x_0^2} - \frac{1}{x^2} \right) K_{y \text{ рас}}, \quad (1.13)$$

а распределение отраженного потока от боковой стенки полого световода  $\Phi_{\text{отр}}(x)$  определяется на основе (1.10) с учетом (1.11), (1.12) и имеет вид:

$$\Phi_{\text{отр}}(x) = I_0 S \left( \frac{1}{x_0^2} - \frac{1}{x^2} \right) \int_{u_x}^{u_0} \rho^{\frac{x}{D} \operatorname{tg} u} du e^{-K_x x \int_{u_x}^{u_0} \frac{1}{\cos u} du}. \quad (1.14)$$

Таким образом, для ОППС суммарный световой поток, падающий на ПИ, равен:

$$\Phi_{\Sigma}(x) = I_0 \frac{S}{x^2} e^{-K_x x} + I_0 S \left( \frac{1}{x_0^2} - \frac{1}{x^2} \right) \int_{u_x}^{u_0} \rho^{\frac{x}{D} \operatorname{tg} u} du e^{-K_x x \int_{u_x}^{u_0} \frac{1}{\cos u} du}, \quad (1.15)$$

где  $\int_{u_x}^{u_0} \frac{1}{\cos u} du$  - учитывает длину пути отраженных лучей.

Выражение (1.1) можно преобразовать к виду:

$$\Phi_{\Sigma}(x) = I_0 \frac{S}{x^2} \left[ e^{-K_x x} + \left( \frac{x^2}{x_0^2} - 1 \right) e^{-K_x x \int_{u_x}^{u_0} \frac{1}{\cos u} du} \int_{u_x}^{u_0} \rho^{\frac{x}{D} \operatorname{tg} u} du \right], \quad (1.16).$$

Таким образом, был произведен расчет для ОППС с продольным перемещением подвижных элементов, где учтены световой поток  $\Phi_{\text{пр}}(x)$  без отражения (прямой) и световой поток  $\Phi_{\text{отр}}(x)$ , отраженный от боковой поверхности полого световода, которые являются составляющими суммарного потока  $\Phi_{\Sigma}(x)$ , падающего на приемник излучения.

#### Литература:

1. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г. «Оптоэлектронные преобразователи больших перемещений на основе полых световодов». М.: Энергоатомиздат, 1987. -105с.
2. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Азимов Р.П., Шипулин Ш.Ю. «Оптоэлектронные измерительные преобразователи на основе полых световодов с внешней модуляцией». Вестник ТашГТУ №2/2000. с.92-97.

3. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Азимов А.Р., Шипулин Ш.Ю. «Вопросы проектирования первичных преобразователей на основе полых световодов». Сборник научных трудов: Моделирование и синтез динамических систем. ТашГТУ. – 1997. с.26-29.
  4. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Данько И.В., Хамдамов Б.М. Дискретные оптоэлектронные интеллектуальные измерительные преобразователи уровня на основе полых световодов // Журнал «Наука, образование, техника». – Ош, 2008. -№1. –С. 100-102.
-