

К. А. Никитин^{1,2}, А. В. Бритвин¹*

Ввод излучения ультрафиолетового светодиода в оптоволокно. Расчеты и эксперимент

¹ Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: ni-ki-ti-n2000@mail.ru

Аннотация. Из-за зависимости характеристик светодиодов от их текущей температуры эксперименты с атмосферной оптической линией связи на ультрафиолете труднопроизводимы. Одним из вариантов решения проблемы – передавать излучение от термостабилизированного светодиода к месту проведения эксперимента. В настоящей работе предложены метод оптимизации простейшей оптической схемы сбора излучения и метод оценки эффективности поступления излучения в оптоволокно.

Ключевые слова: оптоволокно, сбор излучения, АОЛС

К. А. Nikitin^{1,2}, А. V. Britvin¹*

The Input of Ultraviolet LED Radiation into the Optical Fiber. Calculations and Experiment

¹ Institute of Laser Physics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: ni-ki-ti-n2000@mail.ru

Abstract. Due to the dependence of the characteristics of LEDs on their current temperature, experiments with an atmospheric optical communication line in ultraviolet are difficult to reproduce. One of the solutions to the problem is to transfer radiation of a thermally stabilized LED to the place of the experiment. In this paper, we propose a method for optimizing the simplest optical radiation collection scheme and a method for evaluating the efficiency of radiation input into an optical fiber.

Keywords: optical fiber, radiation collection, FSO

Введение

Для чистоты экспериментов с атмосферной оптической линией связи (АОЛС) нужны стабильные характеристики передаваемого излучения. На открытом воздухе этого трудно достичь из-за заметного перепада температур с течением времени. В помещении круглогодично поддерживается температура чуть выше 20°C, поэтому поддерживать там температуру светодиода на одном уровне – простейшая задача.

Остается решить, как ввести излучение в оптоволокно (ОВ), которое передаст это излучение к месту проведения эксперимента.

Оптическая схема и методы расчета

В настоящей работе рассчитывается схема, представленная на рис. 1, где y_1 – радиус светодиода; $a_{1s} = n \cdot \sin(\alpha)$ – приведенный угол, где α – угол между направлением распространения луча и главной оптической осью системы, n – показатель преломления среды в данной точке [1]. Для светодиода BLD-HP001UV [2]: $y_1 = 2,5$ мм; $\alpha = \pi/4$; $a_{1s} \approx 0,7$; $y_{OB} = 0,45$ мм; $NA = 0,45$.

В расчетах будет использоваться широко известный матричный метод [3].

Также стоит заметить, что для расчетов трансляции будет использоваться $a_{1t} = n \cdot \text{tg}(\alpha)$.

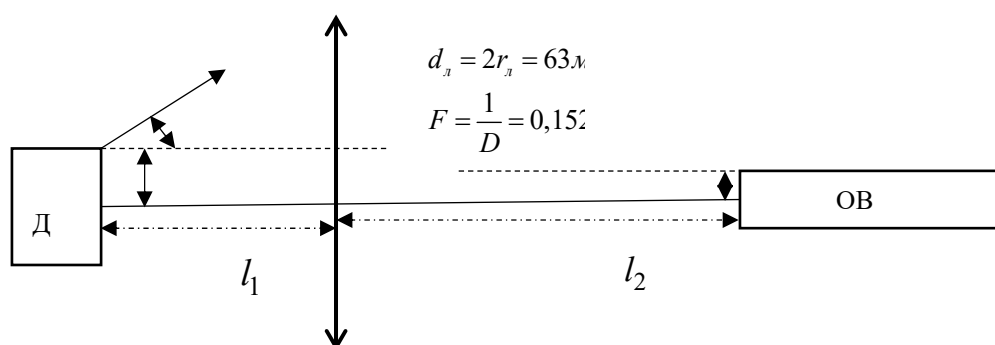


Рис. 1. Оптическая схема ввода излучения в оптоволокно

Расчеты

Для начала выведем формулу, показывающую, какая часть излучения попадает в ОВ, в зависимости от пятна контакта, апертуры ОВ и максимального угла падения лучей на ОВ. На рис. 2 изображен один из вариантов падения лучей на оптоволокно, где NA – апертура ОВ, r_{OB} – радиус внутренней части ОВ, R_n – радиус пятна падающего излучения, w_n – угол падения излучения.

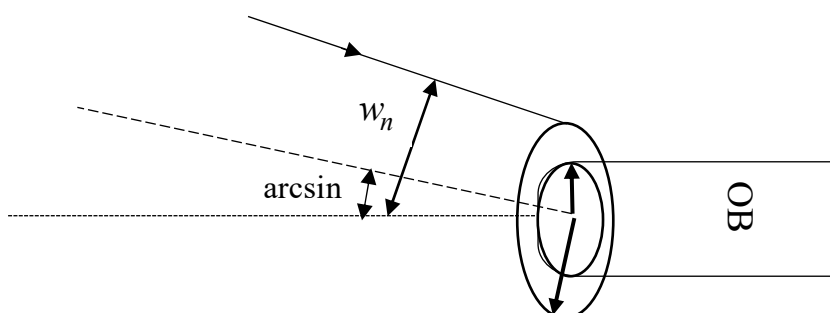


Рис. 2. Падение излучения на ОВ и его характеристики

На коэффициент сбора влияет площадь части пятна падающего излучения, которая попадает в ОВ, и угол падения излучения:

$$\eta = k_s \cdot k_\alpha \quad (1)$$

где k_s – коэффициент «площадного» сбора, k_α – коэффициент «углового» сбора. Эти коэффициенты рассчитываются по формулам:

$$k_s = \begin{cases} 1, & S_n \leq S_{OB} \\ \frac{S_{OB}}{S_n} = \frac{r_{OB}^2}{R_n^2}, & S_n > S_{OB} \end{cases}, \quad (2)$$

$$k_\alpha = \begin{cases} 1, & w_n \leq \arcsin(NA) \\ \frac{\arcsin^2(NA)}{w_n^2}, & w_n > \arcsin(NA) \end{cases}. \quad (3)$$

Как известно, размер изображения источника (R_n) после линзы вычисляется по формуле:

$$R_n = y_1 \cdot \Gamma = y_1 \cdot \frac{l_2}{l_1} = \frac{y_1}{l_1} \cdot \frac{Fl_1}{l_1 - F}. \quad (4)$$

Из (4) можно сделать вывод, что минимальное изображение ограничивается только длиной помещения, куда можно установить схему длиной ($l_1 + l_2$). Также, учитывая конечные размеры линзы:

$$w_n = \begin{cases} a_{1s} - D \cdot (y_1 + l_1), & l_1 \leq r_{л} - y_1 \\ \sin \left(\arctan \left(\frac{r_{л} - y_1}{l_1} \right) \right) - D \cdot r_{л}, & l_1 > r_{л} - y_1 \end{cases}, \quad (5)$$

$$\eta_{рас} = \eta \cdot \left(\frac{r_{л}}{y_1 + l_1} \right)^2. \quad (6)$$

Для примера возьмем $l_1 = 0,226$ м, тогда $R_n \approx 0,003$ м, $l_2 \approx 0,464$ м, $w_n \approx -0,076$, $\eta_{рас} \approx 1,4 \cdot 10^{-4}$.

Эксперимент

Собрав оптическую схему, соблюдая указанные выше расстояния, мы получили следующее:

$$\eta_{\text{экс}} = \frac{P_{\text{погл}}}{P_{\text{сд}}} = \frac{8 \text{ отсчетов}}{75000 \text{ отсчетов}} \approx 10^{-4}. \quad (7)$$

Заключение

Экспериментальные результаты подтвердили, что расчеты хорошо предсказали итоговую долю излучения, попадающую в ОВ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матричная оптика : учебное пособие / О. Р. Семенова ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2022 – 2,21 Мб ; 224 с. ISBN 978-5-7944-3842-0.
2. Datasheet MCP4725. 12-Bit Digital-to-Analog Converter with EEPROM Memory in SOT-23-6. © 2007, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.
3. Джерард А., Берч Дж.М. Введение в матричную оптику / пер. с англ. А. И. Божкова и Д. В. Власова; под ред. В. В. Коробкина. М.: Мир.– 1978. – 342 с.

© К. А. Никитин, А. В. Бритвин, 2024