

*Четырнадцатая Международная научно-техническая конференция  
«Оптические методы исследования потоков»  
Москва, 26 – 30 июня 2017 г.*

УДК 621.375

А.Е. Тарасов

*«Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия,  
111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, E-mail: tarasovay01@gmail.com*

**ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА  
МОДОВОЙ СТРУКТУРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ДИОДА**

**АННОТАЦИЯ**

Описана конструкция установки, которая позволяет в условиях проведения профилактических и ремонтных работ лазерных измерительных систем мобильно проверить режим генерации лазерного диода на основной моде.

**ЛАЗЕРНЫЙ ДИОД, ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ, РЕЖИМ ГЕНЕРАЦИИ,  
РАСХОДИМОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ**

**ВВЕДЕНИЕ**

С каждым годом лазерные диоды (далее – ЛД) все шире используются в приборостроении, медицине, системах связи, информационных системах, косметологии и других, не менее значимых областях. Качество и безопасность созданных на основе ЛД изделий определяется точностью измерения их различных характеристик. Отсюда возникает необходимость создания установки позволяющей с высокой скоростью решать поставленные задачи.

Ведущие мировые производители, работающие в данном направлении: Ophir Optronic [1], Thorlabs [2], Coherent [3] предлагают широкий спектр оборудования для подобных измерений.

Активные исследования в данном направлении ведутся в Республике Беларусь. Во многом они были стимулированы необходимостью обеспечения национального метрологического контроля лазерной техники.

В институте физики НАН Белоруссии в 2011 году была создана установка для определения пространственных характеристик лазерного излучения (УИЛИ) [4]. В 2010–2013 гг. в Институте физики НАН Беларуси был разработан и затем усовершенствован «Комплекс для измерений фотометрических, радиометрических, спектрометрических и пространственных характеристик излучения лазерных диодов и светодиодов» - «Простор ЛД-СИД» [5].

Среди российских разработчиков можно отметить ООО «ЛАМЕТ», где был разработан и создан комплекс для измерения энергетических и пространственных параметров лазерного излучения «СИЭПХ-2» [6].

При серийном производстве ЛД особое внимание уделяется проблеме повышения скорости измерений необходимых параметров, учитывая специфику излучения ЛД – большую расходимость. Следует отметить, что существующие установки созданы в

основном на базе сложного дорогостоящего импортного оборудования, некоторые являются эталонами и требуют работы высококвалифицированных специалистов, что существенно затрудняет внедрение данных методов в серийное производство. При этом область использования средств измерения разработанных зарубежными производителями часто ограничена диагностикой лазерных пучков с малой расходимостью. Учитывая эти особенности, а так же общую тенденцию импортозамещения в России, требуется не сложный в эксплуатации, дорогостоящий эталон, а рабочее средство измерения.

Одним из частных решений данной проблемы является создание установки для быстрого измерения модовой структуры излучения лазерного диода, которая позволит быстро диагностировать крупные партии лазерных диодов и может быть использовано в условиях проведения профилактических и ремонтных работ лазерных измерительных систем.

## **ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ МОДОВОЙ СТРУКТУРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ**

### **Методика экспресс-анализа модовой структуры излучения ЛД**

Основной целью экспресс анализа модовой структуры излучения ЛД является определение того является это излучение многомодовым или одномодовым.

В случае, когда астигматизм лазерного пучка возможно исключить мы можем обозначить функцию, описывающую диаграмму направленности излучения. Для исключения астигматизма отдельно рассматривают поле излучения ЛД в горизонтальной и вертикальной плоскости. В вертикальной плоскости, в случае генерации на фундаментальной моде, функция описывающая диаграмму направленности имеет вид:

$$f^{\perp}(\theta) = G^2(\theta^{\perp}) \exp(-A^2 z^2), \quad (1)$$

где  $G^2(\theta^{\perp})$  – квадрат углового фактора Гюйгенса [7]:

Подробно данная методика описана в [8].

Угол расходимости излучения ЛД  $\theta_{1/2}^{\perp}$  позволяет задать в явном виде функцию, описывающую диаграмму направленности излучения в плоскости, перпендикулярной р-п-переходу (далее – вертикальной плоскости). Мощность излучения, падающего на  $j$ -ый фотодиод, нормаль к приемной поверхности которого направлена под углом  $\theta_j^{\perp}$  определяется следующим образом:

$$P_{\text{пад}\Phi\text{Д}}(\theta_j) = I(0) \int_{\theta_{\min j}}^{\theta_{\max j}} \int_{-\alpha_{\Phi\text{Д}}}^{\alpha_{\Phi\text{Д}}} f^{\perp}(\theta, 0) d\alpha \sin \theta d\theta, \quad (2)$$

где  $I(0)$  – осевая сила излучения ЛД;  $f^{\perp}(\theta, 0)$  – функция, описывающая диаграмму направленности излучения ЛД в вертикальной плоскости;  $\theta_{\min}$ ,  $\theta_{\max}$ ,  $(-\alpha_{\Phi\text{Д}})$  и  $\alpha_{\Phi\text{Д}}$  – полярные и азимутальные углы границ приемной площадки фотодиода;  $\theta$  и  $\alpha$  – текущие сферические координаты – полярный и азимутальный угол.

Отношение мощностей излучения, падающего на фотодиоды с равными угловыми апертурами при их расположении под разными углами  $\theta_j^{\perp}$  и  $\theta_{j+1}^{\perp}$  к оптической оси измерительной системы, определяется формулой:

$$\frac{P_{\text{над}\Phi\text{Д}(\theta_j)}}{P_{\text{над}\Phi\text{Д}(\theta_{j+1})}} = \frac{\int_{\theta_{\text{min } j}}^{\theta_{\text{max } j}} \int_{-\alpha\Phi\text{Д}}^{\alpha\Phi\text{Д}} f^\perp(\theta,0) d\alpha \sin \theta d\theta}{\int_{\theta_{\text{min } j+1}}^{\theta_{\text{max } j+1}} \int_{-\alpha\Phi\text{Д}}^{\alpha\Phi\text{Д}} f^\perp(\theta,0) d\alpha \sin \theta d\theta}. \quad (3)$$

Одномодовый режим генерации определяется в том случае, если правая часть соотношения, равна отношению измеренных мощностей излучения, падающего на фотодиоды.

### Принцип функционирования измерительной установки для экспресс-анализа модовой структуры излучения ЛД

Блок-схема установки, предназначенной для быстрого определения модовой структуры (диаграммы направленности) в вертикальной плоскости приведена на рис. 1. Ее прототипом является схема установки, приведенная в [8].

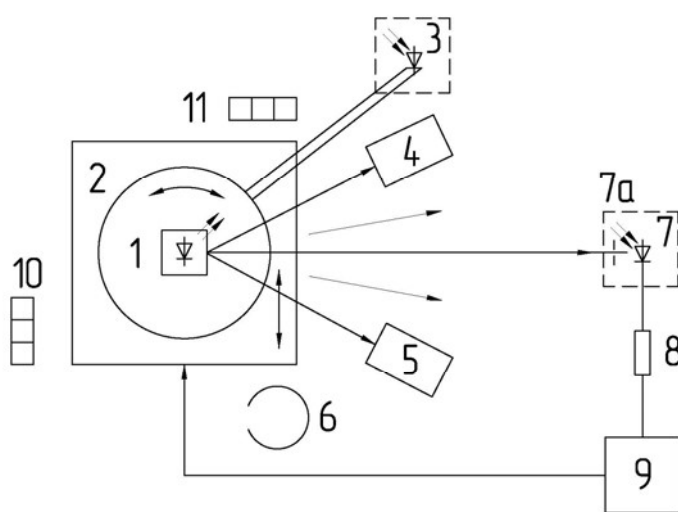


Рис. 1. Схематическое изображение измерительной установки для экспресс-анализа модовой структуры излучения ЛД:

1 – диагностируемый лазерный диод ЛД; 2 – поворотный столик гониометра; 3 – приемник-свидетель; 4 и 5 – фотодиодные блоки с поляризационными призмами; 6 – интегрирующая сфера; 7 – фотодиод с диафрагмой 7а; 8 – АЦП; 9 – компьютер; 10 и 11 – водяные уровни для совмещения базовой оптической плиты с горизонтальной плоскостью

Приемник-свидетель 3 определяет и учитывает нестабильность мощности лазерного излучения в процессе измерения. На его приемную поверхность падает излучение, распространяющееся в вертикальной плоскости в периферийной области лазерного пучка. Корпус приемника – свидетеля фиксирован относительно поворотного столика гониометра 2.

Приемник-свидетель градуируется с помощью интегрирующей сферы 6. С помощью сферы измеряется мощность излучения. Выходной сигнал приемника-свидетеля является опорным сигналом, на который нормируются выходные сигналы фотодиода 7. Он фиксируется через 0,5 секунды после вывода интегрирующей сферы из пучка излучения.

С поворотным столиком гониометра 2 жестко соединен юстировочный узел, который позволяет компенсировать несовпадение осей симметрии корпуса ЛД и лазерного пучка. Этот узел используется в случае ухода оси диаграммы направленности излучения, вызванного изменением мощности генерации ЛД, и позволяет компенсировать несовпадение

осей симметрии корпуса ЛД и лазерного пучка. В юстировочном узле закреплен диагностируемый лазерный диод 1.

Диагностируемый лазерный диод 1, расположен таким образом, чтобы ось диаграммы направленности его излучения проходила через центр диафрагмы 7а, апертура которой выбирается из условия обеспечения сканирования диаграммы направленности с шагом 15 угловых минут. Контроль положения оси диаграммы направленности осуществляется с помощью выходных сигналов с фотодиодов, с установленными перед ними поляризационными призмами с взаимно перпендикулярными плоскостями пропускания, которые входят в состав в фотодиодных блоках 4 и 5. Выходные сигналы поступают на АЦП 8, а затем на управляющую схему, подсоединенную к компьютеру 9. Положение столика гониометра изменяется сигналом с управляющей схемы.

Мощность излучения ЛД, падающего на фотодиоды рассчитывается по (2). Излучение, падающее на эти фотодиоды, распространяется под некоторым фиксированным углом  $\theta$ . При измерениях модовой структуры ЛД, зная  $\theta$  можно найти значение функции  $f^+(\theta)$  по (1).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показана возможность проведения и приведена общая концепция построения измерительной установки для экспресс-анализа модовой структуры излучения ЛД. Для создания использована методика основанная на определении в явном виде функции, описывающей диаграмму направленности излучения ЛД в вертикальной плоскости. Измерительная установка объединяет в себе интегрирующую сферу с фотоэлектрическими преобразователями лазерного излучения и поляризационными призмами, расположенными определенным образом в периферийной области пучка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фирма Ophir Optronics [Электрон. ресурс]. Полный каталог измерителей мощности и энергии и измерителей профиля луча Ophir. 2017. <http://www.ophiropt.com> 256 с.
2. Фирма Thorlabs. Каталог продукции Thorlabs. 2016. <http://www.thorlabs.com>
3. Фирма Coherent [Электрон. ресурс]. Laser Measurement and Control Product Catalog. 2016/2017. <http://www.coherent.com> 136 с.
4. Исаевич А. В., Холенков А. В. Установка для определения пространственных характеристик лазерного излучения. // Оптический журнал. 78. 10. 2011. С. 67-73.
5. Никоненко С.В., Луценко Е.В., Данильчик А.В., Длугунович В.А., Ждановский В.А., Крейдич А.В., Липлянин А.А., Ржеуцкий М.В. Комплекс для измерений фотометрических, радиометрических, спектрометрических и пространственных характеристик излучения лазерных диодов и светодиодов в спектральном диапазоне от 250 до 900 нм. // Приборы и методы измерений. 2015. №1(10). С. 10-17.
6. Фирма ООО «ЛАМЕТ» [Электрон. ресурс]. <http://www.lamet.ru/measurements>
7. Thompson G.H.V. Physics of semiconductor laser devices. N.Y.: J. Wiley and Sons.1980. P. 185 – 186.
8. Близнюк В.В., Березовская Н.В., Паршин В.А., Тарасов А.Е., Оптико-электронный комплекс для измерений основных параметров излучения лазерных диодов в свободное пространство. // «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики: Серия «Естественные и Технические науки». 2016. №8. С.29-33.

A. Tarasov

*National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Russia,*

111250, Moscow, Krasnokazarmennaya St., 14, E-mail: tarasovay01@gmail.com

## MEASURING INSTALLATION FOR CARRYING OUT RAPID ANALYSIS OF THE LASER DIODE RADIATION MODAL STRUCTURE

***Abstract.** Construction of installation which allows to carry out mobile check of oscillating mode of the laser diode on characteristic mode in the conditions of carrying out preventive measures and repair work of laser measuring systems is described.*

LASER DIODE, RADIATION PATTERN, GENERATION MODE, RADIATION DIVERGENCE