

*Тринадцатая Международная научно-техническая конференция  
«Оптические методы исследования потоков»  
Москва, 29 июня– 03 июля 2015 г.*

УДК 535.24.022

А.А. Моисеев, В. В. Близнюк, А.Ю. Якушенков, В.Ф. Кубарев

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия,  
111250, Москва, Красноказарменная ул., 14*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ УСЛОВИЙ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В ЛАЗЕРНЫХ ДОПЛЕРОВСКИХ АНЕМОМЕТРАХ**

**АННОТАЦИЯ**

В настоящее время помимо высоких требований к точности измерительных приборов не менее серьезные требования выдвигаются и к их миниатюризации и расширению функциональных возможностей. Все это связано с использованием измерительных приборов в промышленных комплексах и системах различных типов. Самым точным в настоящее время прибором, измеряющим скорость движения потоков жидкости и газа, является лазерный доплеровский анемометр (далее ЛДА). Вместе с возможностью включения в его состав волоконно-оптической линии связи в качестве системы формирования и транспортирования зондирующего излучения, ЛДА становится весьма эффективным средством измерения скорости потоков при достаточно легко достижимых вариациях линейных размеров системы. Для практической реализации схем ЛДА необходим стабилизированный по мощности и частоте источник излучения. С целью обеспечения минимизации габаритов источника и достижения требуемых значений параметров его излучения можно использовать полупроводниковые лазерные диоды (ЛД), оптимизированные по спектральным и пространственным характеристикам излучения.

**ЛАЗЕРНЫЙ ДОПЛЕРОВСКИЙ АНЕМОМЕТР, ЛАЗЕРНЫЙ ДИОД, МОДОВЫЙ СОСТАВ,  
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ СВЯЗИ**

**ВВЕДЕНИЕ**

Одно из важнейших достоинств лазерных доплеровских анемометров заключается в том, что можно проводить дистанционные измерения скорости потока без механического контакта с этим потоком и, следовательно, не вносить в него какие либо изменения. Таким образом, модернизация схем ЛДА и отдельных её компонент – актуальная задача, представляющая собой важный аспект в проектировании ЛДА. В то же время ЛДА является измерительным прибором, точность которого сильно зависит от юстировки каждого из узлов его схемы. Из этого следует, что необходимо избегать внедрения в схему большого количества элементов оптической системы. Следует также иметь ввиду, что источник излучения далеко не всегда возможно установить вблизи измерительного объема. Именно поэтому используют ЛДА с включенной в его состав волоконно-оптической линии связи (далее ВОЛС).

На рис. 1 представлена классическая принципиальная схема двухпучкового ЛДА.

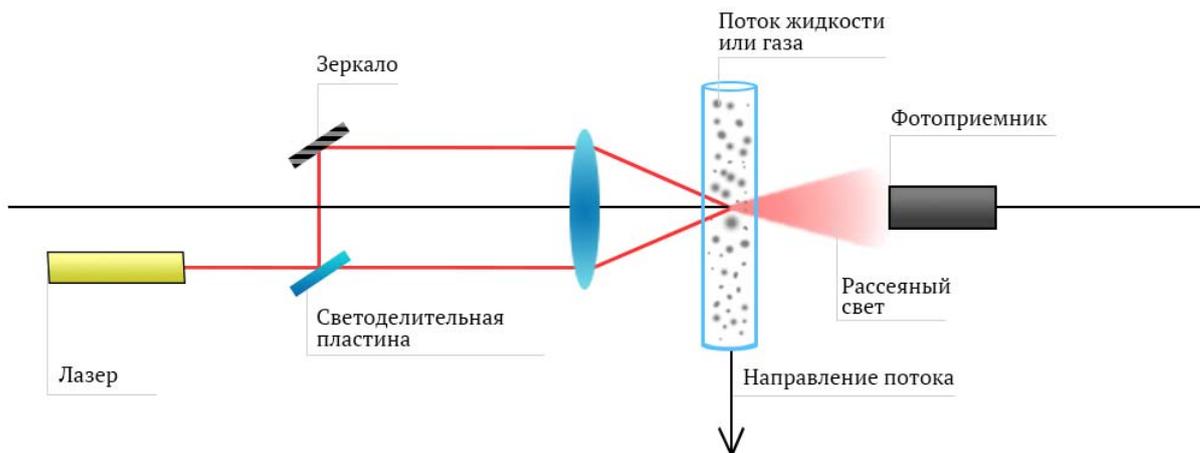


Рис. 1. Схематическое изображения двух-пучкового ЛДА

Излучение лазера проходит через систему, состоящую из зеркала, светоделительной пластины и линзы, и попадает на исследуемый объект – поток жидкости или газа. На фотоприемник приходит рассеянное на частицах потока доплеровское излучение. По величине доплеровского смещения, фиксируемой системой приёма и обработки сигналов, определяют скорость движения частиц, на которых произошло рассеяние. При этом достигается величина относительной погрешности, не превышающая 1%.

В большинстве конструкций ЛДА в качестве источников излучения используют стабилизированные по мощности и частоте газовые или твердотельные лазеры. Для достижения максимального значения параметра сигнал/шум обеспечивается выполнение следующих условий: полная амплитудная и поляризационная согласованность зондирующих пучков, длина когерентности суммарного излучения должна быть много больше линейных размеров измерительного объема. Соблюдение этих условий позволяет обеспечивать максимальную видность и устойчивость интерференционной картины (ИК). Однако существенным недостатком газовых и твердотельных лазеров является то, что они имеют большие габариты и поэтому не позволяют создать ЛДА с малыми линейными размерами. В связи с этим возникает задача минимизации размеров источников лазерного излучения, то есть использования лазерных диодов, а значит и всестороннего исследования их параметров.

Теперь рассмотрим схему ЛДА с использованием волоконно-оптической линии связи в качестве системы формирования зондирующего излучения (далее СФЗИ), представленную на рис. 2.

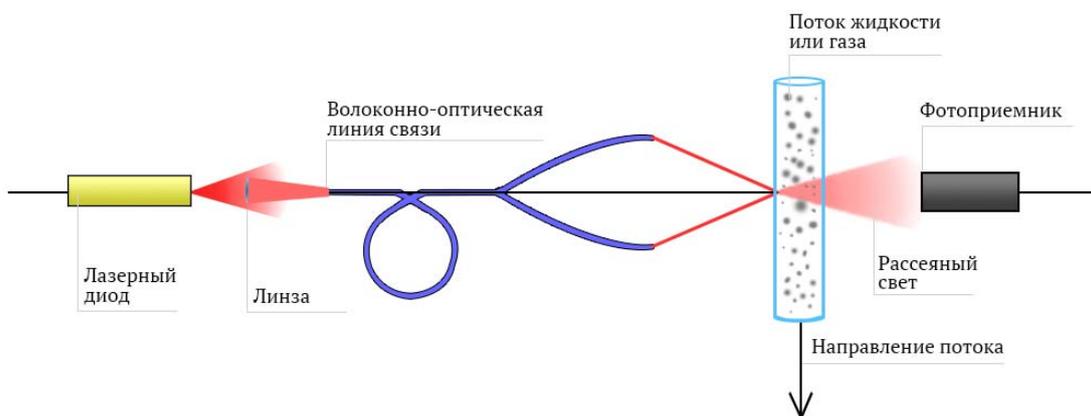


Рис. 2. Схематическое изображения двухпучкового ЛДА с ВОЛС Y-типа в качестве СФЗИ

Далее рассмотрим детальнее схему ввода излучения ЛД в волновод, представленную на рис. 3.

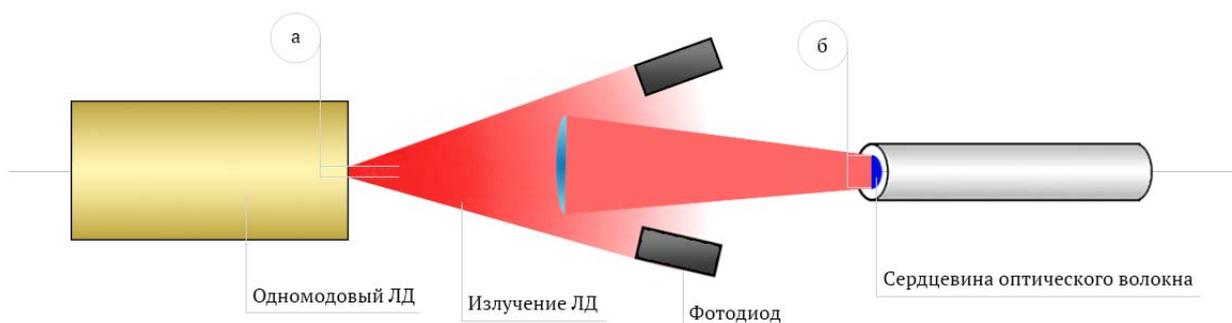


Рис. 3. Узел ввода излучения лазерного диода в одномодовое оптическое волокно

Масштаб вдоль оптической оси системы не выдержан, так как расстояния между ЛД и линзой и между линзой и входом в оптическое волокно на три порядка больше поперечных размеров пучка на выходе ЛД и диаметра сердцевины оптического волокна. На рис. 3, а – поперечный размер пятна на выходном зеркале ЛД равен 1,5 мкм, б – диаметр сердцевины одномодового оптического волокна равен 5 мкм. В схему также входят два фотодиода, расположенные симметрично относительно оптической оси узла ввода излучения лазерного диода в одномодовое оптическое волокно. Использование этих фотодиодов позволяет контролировать положение оси пучка излучения ЛД в плоскости, перпендикулярной р-п-переходу (далее – вертикальной плоскости). Контроль заключается в том, что при уходе оси диаграммы направленности от требуемого направления возникает разностный сигнал встречно включенных выходных сигналов фотодиодов. Путем поворота ЛД осуществляется требуемая соосность системы. В волновод вводится только та часть излучения, диаграмма направленности которой описывается гауссовой функцией. Нами определено, что в вертикальной плоскости эта часть излучения распространяется в телесном угле  $\omega = 30^\circ\text{-}33^\circ$ . Остальная часть излучения используется для контроля положения оси диаграммы направленности, при помощи фотодиодов.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛД

Исследования в дальней зоне нормированных угловых зависимостей интенсивности излучения ЛД в вертикальной плоскости и в плоскости р-п-перехода (далее – горизонтальной плоскости), широко используются для определения их режима генерации [1 – 3]. Измерения проводят при разных уровнях мощности излучения. Если при возрастании мощности излучения ЛД нормированные угловые зависимости интенсивности излучения в вертикальной и горизонтальной плоскости не изменяются и возможна хорошая аппроксимация этих зависимостей гауссовой функцией, то принято считать, что имеет место генерация на основной моде [1 – 3]. Однако использование такого алгоритма определения режима генерации ЛД позволяет дать лишь качественную оценку модового состава излучения.

В данной работе использована разработанная нами ранее методика, позволяющая количественно определять режим генерации на основной моде сильно расходящегося излучения ЛД [4]. Для реализации этой методики были сняты и проанализированы диаграммы направленности излучения 4-х ЛД KLM-650 в вертикальной плоскости (рис. 4 – 7). Длина волны излучения этих ЛД равна 650 нм.

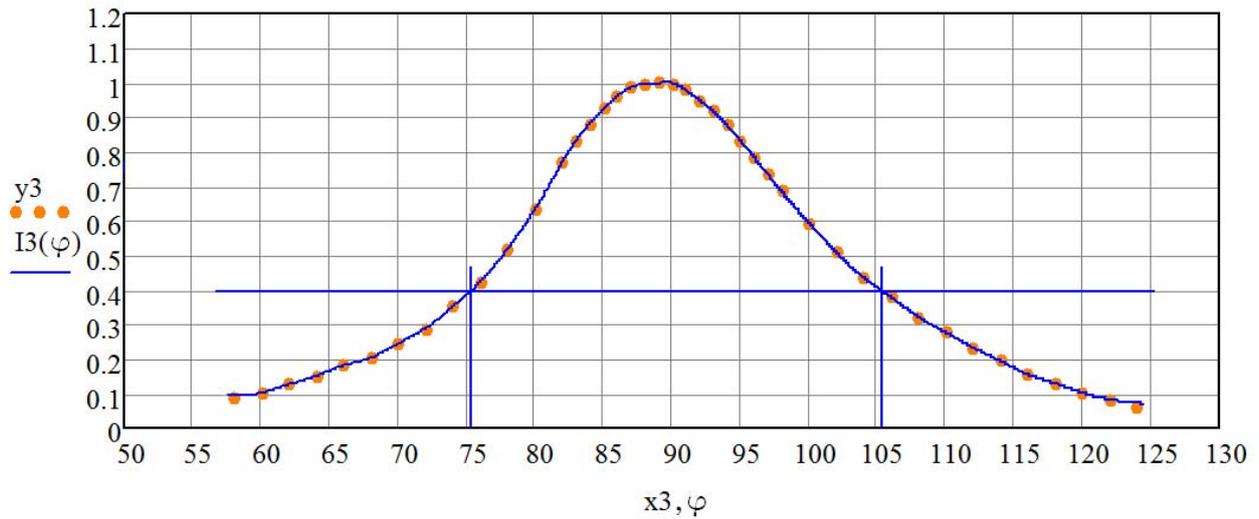


Рис. 4. Диаграмма направленности излучения ЛД №3. Точками указаны экспериментальный данные, непрерывной линией – диаграмма направленности, полученная путем аппроксимации измеренных значений

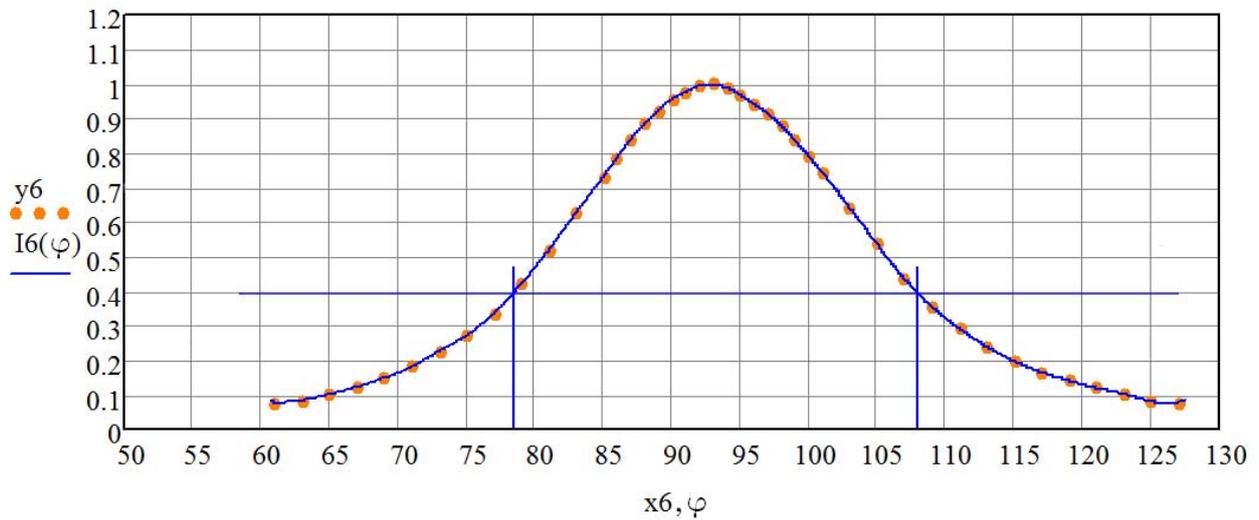


Рис. 5. Диаграмма направленности излучения ЛД №6. Точками указаны экспериментальные данные, непрерывной линией – диаграмма направленности, полученная путем аппроксимации измеренных значений

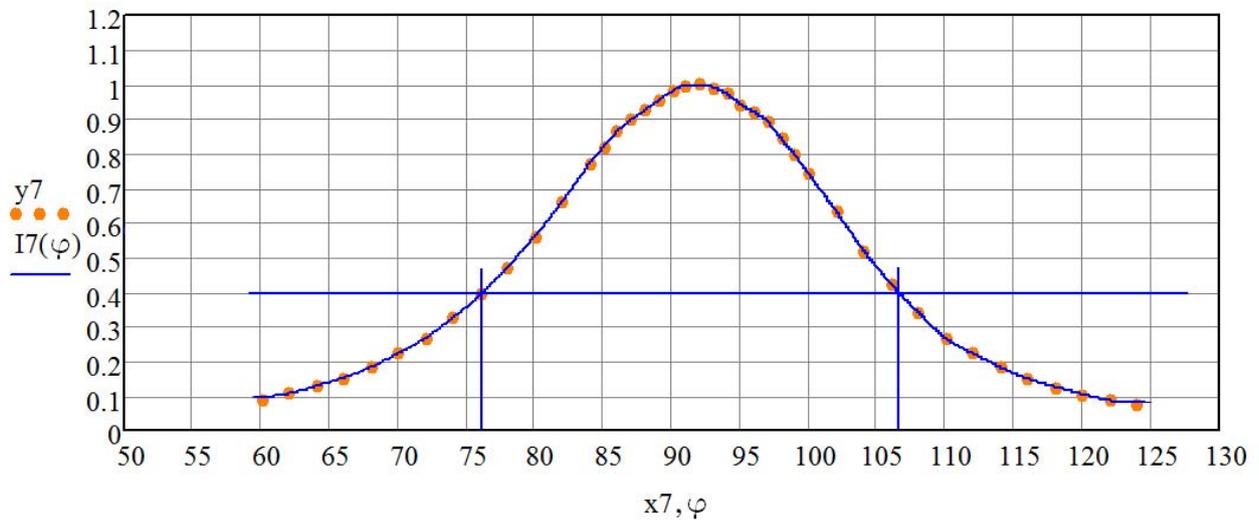


Рис. 6. Диаграмма направленности излучения ЛД №7. Точками указаны экспериментальные данные, непрерывной линией – диаграмма направленности, полученная путем аппроксимации измеренных значений

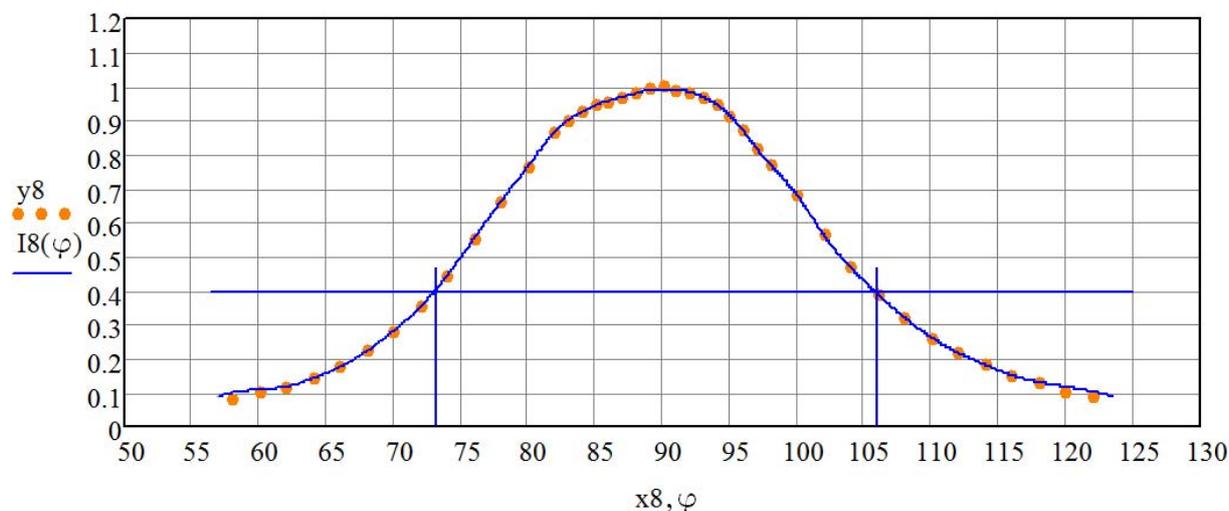


Рис. 7. Диаграмма направленности излучения ЛД №8. Точками указаны экспериментальные данные, непрерывной линией – диаграмма направленности, полученная путем аппроксимации измеренных значений

Анализ диаграммы направленности показывает, что от максимального значения функции  $I(\varphi) = 1$  до  $I(\varphi) = 0,4$  зависимости, описывающие их, хорошо аппроксимируются гауссовыми кривыми. А это означает, что генерация излучения ЛД №3, ЛД №6 и ЛД7 в диапазоне углов  $\omega = 30^\circ$ , ЛД №8 в диапазоне углов  $\omega = 33^\circ$  осуществляется на основной моде. При этом необходимо отметить, что в случае генерации на основной моде ширина спектральной линии излучения ЛД имеет наименьшее значение. Благодаря этому, достигается наиболее высокая степень монохроматичности излучения ЛД, что принципиально важно для использования их в ЛДА.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЛДА, в котором излучение лазерного диода транспортируется в зону измерений через оптическое волокно, обеспечивает проведение диагностики потока без непосредственного контакта с исследуемым объектом и при любом положении ЛД относительно этого объекта. Использование ЛД в качестве излучателя в составе ЛДА позволяет минимизировать габариты всей системы ЛДА. В работе продемонстрирована реализация ввода излучения ЛД в сердцевину оптического волокна. Представлены диаграммы направленности излучений 4-х ЛД, на анализе которых установлено, что генерация излучения этих ЛД осуществляется на основной моде, что обеспечивает наименьшую ширину спектральной линии — крайне важного параметра для функционирования ЛДА.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поповичев В.В., Давыдова Е.И., Мармалюк А.А., Симаков А.В., Стратонников А.А., Мощные поперечно-одномодовые полупроводниковые лазеры с гребнёвой конструкцией оптического волновода // Квантовая электроника, Т.32, №12, 2002. – С. 1099 – 1104.
2. Слипченко С.О., Винокуров Д.А., Пихтин Н.А., Соколова З.Н., Станкевич А.А., Тарасов И.С., Алферов Ж.И. Сверхнизкие внутренние оптические потери в квантоворазмерных лазерных гетероструктурах раздельного ограничения // ФТП, Т.38, вып.12, 2004. – С. 1477 – 1485.
3. Давыдова Е.И., Ладугин М.А., Мармалюк А.А., Падалица А.А., Петровский А.В., Сухарев А.В., Успенский М.Б., Шишкин В.А. Мощные одномодовые лазерные диоды

на основе квантоворазмерных гетероструктур In Ga As / Al Ga As, легированных углеродом // Квантовая электроника, Т.39, №1, 2009. – С. 18 – 20

4. Крайнов И.В. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук «Автономно калибруемое средство измерений пространственно-энергетических и поляризационных характеристик излучения лазерных диодов» УДК 535.343.2. Москва 2014, 141 с.

A.A. Moiseev, V.V. Bliznyuk, A.Yu. Yakushenkov, V.F. Kubarev

*National Research University (Moscow Power Engineering Institute), Russia,  
111250, Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14, E-mail: omfi@mpei.ac.ru*

#### **«RESEARCH OF THE POLARIZATION STATE OF THE LASER DIODE TO OPTIMIZE THE CONDITION OF THEIR USE LASER DOPPLER ANEMOMETRY»**

Currently, in addition to high accuracy requirements instrumentation not less severe demands put forward, and their miniaturization and expansion functionality. All this involves the use of instrumentation in industrial complexes and systems of various types. The most accurate is now a device that measures the velocity of the liquid and gas flow, a laser doppler anemometer (hereinafter LDA). Together with the possibility of the include into its structure fiber-optic communication line as a system of formation of the probe radiation, LDA becomes a very effective means of measuring flow rates at easily attainable variations of linear dimensions of the system. For practical implementation of circuits LDA needs a stable power and frequency of the radiation source. In order to ensure minimizing the size of the source and achieve the desired values of the parameters of the radiation it is possible to use semiconductor laser diodes (LD), optimized for the spectral and spatial characteristics of radiation.

LASER DOPPLER ANEMOMETRY, LASER DIODE, THE MODE COMPOSITION, FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINE