



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

УДК 621.315.592

В. А. Паршин, В. В. Близнюк, В.И. Чугунков

*Национальный исследовательский университет (Московский энергетический институт),
Россия,
111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, E-mail: omfi@mpei.ac.ru*

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ
ДИОДОВ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ УСЛОВИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В
ЛАЗЕРНЫХ ДОПЛЕРОВСКИХ АНЕМОМЕТРОВ**

АННОТАЦИЯ

В настоящее время предъявляются всё более высокие требования не только к точности измерительных приборов, но и к их габаритам и энергопотреблению. Минимизация геометрических размеров приборов обусловлена использованием их в промышленных комплексах и системах различных типов. В частности известна работа [1], в которой этому вопросу уделено особое внимание. Малые габариты систем позволяют разместить в их составе большее количество различных элементов и, тем самым, расширить функциональные возможности. Самым точным в настоящее время прибором, измеряющим скорость движения газовых потоков и потоков жидкости, является лазерный доплеровский анемометр (ЛДА). Для практической реализации схем ЛДА необходим стабилизированный по мощности и частоте источник излучения. При этом минимизация габаритов ЛДА при сохранении требуемых параметров обеспечивается путем использования в качестве источника излучения полупроводниковых лазерных диодов (ЛД), оптимизированных по спектру, поляризации и мощности излучения.

**ЛАЗЕРНЫЙ ДОПЛЕРОВСКИЙ АНЕМОМЕТР, ЛАЗЕРНЫЙ ДИОД, КОНТРАСТ
МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ, ТЕ- И ТМ-КОМПОНЕНТА**

ВВЕДЕНИЕ

Главное достоинство лазерных доплеровских анемометров заключается в том, что можно проводить локальные измерения скорости потока без непосредственного контакта с этим потоком и, следовательно, без вноса в него каких-либо возмущений. Поэтому совершенствование схем ЛДА и отдельных её компонент – актуальная задача, представляющая собой важный аспект при 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 воздерживаться от внедрения в схему слишком большого количества различных элементов оптической системы, каждый из которых может иметь отклонение от теоретически достижимых параметров, и тем самым уменьшать точность измерений. Схематическое изображение двухпучкового ЛДА представлено на рисунке 1.

На фотоумножитель приходит рассеянное на частицах доплеровское излучение. Величина доплеровского смещения, фиксируемого системой приёма и обработки сигналов, характеризует скорость движения частиц в потоке газа или жидкости, на которых произошло

рассеяние. Таким образом, достигается величина относительной погрешности, не превышающая 1%.

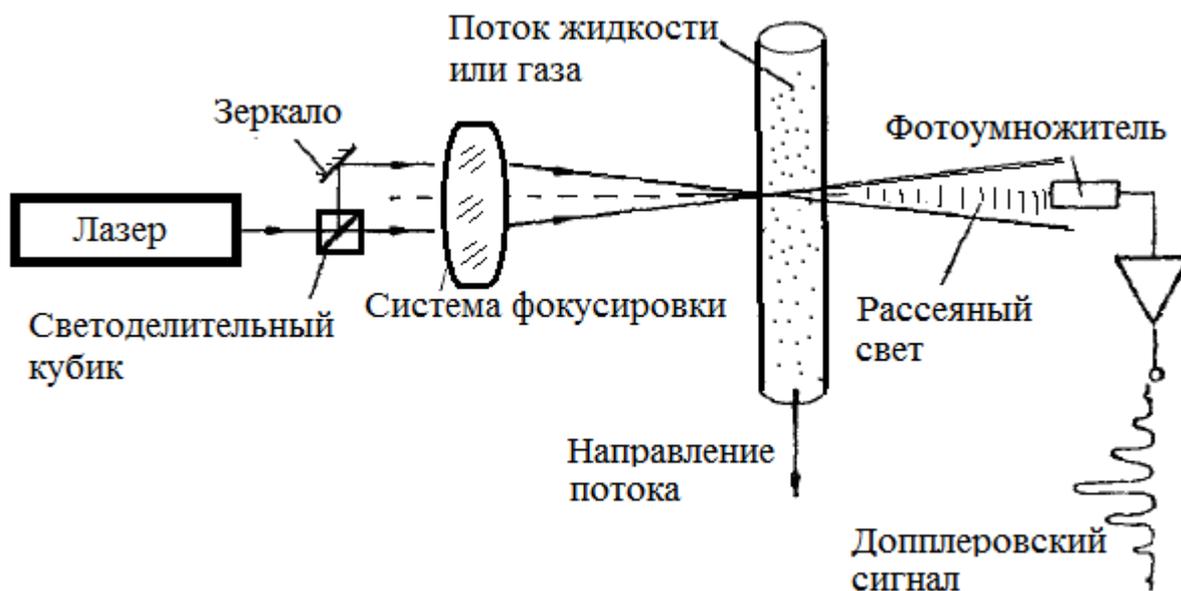


Рис. 1. Схематическое изображение двухпучкового ЛДА

Высокой стабильностью мощности и частоты излучения характеризуются газовые и твердотельные лазеры. Для достижения максимального значения параметра сигнал/шум необходимо выполнение следующих условий: полная амплитудная и поляризационная согласованность зондирующих пучков, длина когерентности суммарного излучения должна быть много больше как линейных размеров измерительного объема, так и всей оптической длины пути излучения. Соблюдение этих условий позволяет обеспечить максимальную видимость 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 ЛД, а значит, и всестороннего исследования их параметров.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛД

В настоящее время наименьшими габаритами среди ЛД характеризуются одномодовые лазерные диоды (ЛД). Они отличаются значительной компактностью, дешевизной и очень высоким (до 60%) КПД. Однако длина когерентности излучения ЛД мала, вследствие того, что излучение ЛД с планарным волноводом имеет достаточно широкий спектр (порядка 1 нм). При этом излучение представляет собой смесь двух ортогонально поляризованных ТЕ- и ТМ-компонент, что обусловлено анизотропией волновода, встроенного в резонатор. Указанная особенность излучения ЛД должна быть учтена при использовании их в ЛДА.

Оптимизация спектра достигается путём внедрения в оптическую систему спектрального селектора с высокой разрешающей способностью, такого как дифракционная решётка. В то же время поляризационную селекцию должны обеспечивать поляризационные элементы, например, поляризационные призмы.

В излучении одномодового ЛД с планарным волноводом превалирует ТЕ-компонента, что обуславливает целесообразность селекции именно этой компоненты. ТЕ-компонента является линейно поляризованной, вектор напряженности электрического поля световой волны которой колеблется в плоскости р-п-перехода. ТМ-мода линейно поляризована в плоскости, перпендикулярной плоскости р-п-перехода. С помощью поляризатора можно

обеспечить практически полное исключение ТМ-компоненты излучения. Количественной характеристикой относительной интенсивности ТЕ- и ТМ-компонент является контраст мощности K , который вычисляется по следующей формуле [2]:

$$K = \frac{J_{TE} - J_{TM}}{J_{TE} + J_{TM}}, \quad (1)$$

где J_{TE} , J_{TM} – соответственно интенсивности ТЕ- и ТМ-компонент.

На рисунке 2 представлена поляризационная структура излучения одномодового ЛД.

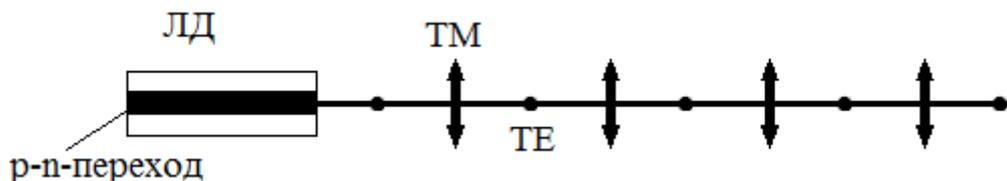


Рис. 2. Излучение ЛД

На рисунке 3 схематически изображен ЛДА, в котором в качестве источника лазерного излучения использован ЛД.

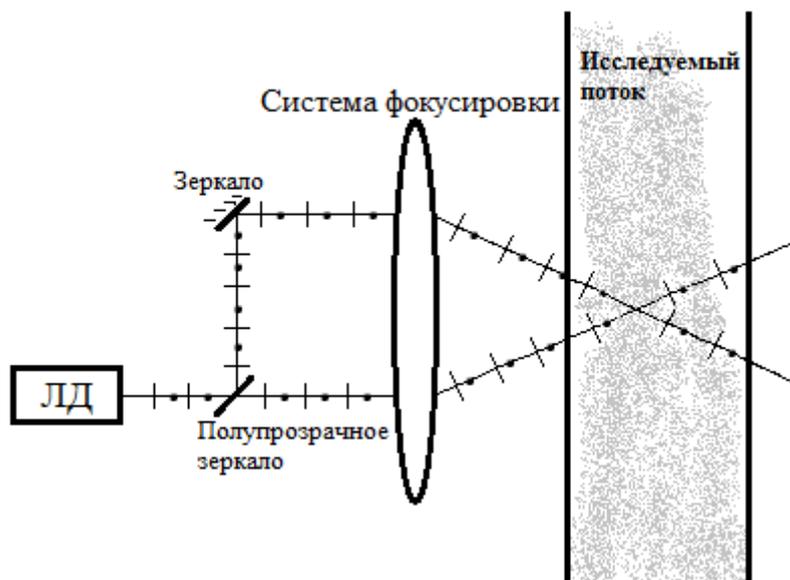


Рис. 3. Схематическое изображение ЛДА с использованием ЛД

Точками на рисунке 3 обозначены направления колебания вектора E в плоскости, перпендикулярной плоскости совмещения пучков, а черточками – направление колебаний вектора E в плоскости совмещения пучков. Так как выделяется только ТЕ-компонента излучения, это означает, что путем поворота ЛД вокруг оси резонатора можно обеспечивать как ту, так и иную ориентацию этой компоненты относительно плоскости совмещения пучков.

На указанной выше схеме видно, что наибольшая поляризационная согласованность двух пучков реализуется в том случае, когда вектор E колеблется в плоскости, перпендикулярной плоскости совмещения двух пучков. Из чего следует, что ТЕ-компонента, должна быть перпендикулярна плоскости совмещения пучков. Поэтому ЛД должен быть ориентирован относительно направления исследуемого потока таким образом, чтобы плоскость p-n-перехода была перпендикулярна плоскости совмещения зондирующих пучков.

Измерение контраста излучения красных ЛД с планарным волноводом

Как указано выше, одномодовые лазерные диоды отличаются высоким КПД, однако, селекция ТЕ-компоненты приводит к уменьшению общего КПД. В таблице 1 представлены экспериментально определенные значения контраста мощности излучения девяти одномодовых ЛД с планарным волноводом из одной партии.

Таблица 1. Контраст коллимированного излучения девяти лазеров модели KLM-D650-3-15 с длиной волны 650 нм при напряжении питания 2,5 В

№	Контраст
ЛД 1	0,986
ЛД 2	0,996
ЛД 3	0,992
ЛД 4	0,993
ЛД 5	0,999
ЛД 6	0,974
ЛД 7	0,977
ЛД 8	0,998
ЛД 9	0,988

Из таблицы 1 видно, что контраст коллимированного излучения одномодовых ЛД с планарным волноводом очень близок к единице, а это означает, что излучение такого ЛД почти полностью характеризуется его ТЕ-компонентой. Следовательно, при поляризационной селекции излучения одномодовых ЛД с планарным волноводом общий КПД практически не уменьшается.

В последние годы все чаще используется транспортирование излучения ЛД в область измерений ЛДА по оптическому волокну. В том случае, когда на вход оптоволокну подается гауссов или очень близкий по параметрам к нему пучок излучения, на выходе одномодового оптоволокну формируется гауссов пучок, использование которого является оптимальным для обеспечения высокой точности ЛДА. В связи с этим представляет интерес комплексное исследование угловой зависимости контраста мощности излучения ЛД и его диаграммы направленности (ДН). Анализ этих зависимостей позволяет оптимизировать параметры оптоволокну.

На рисунках 4, 5, 6 и 7 представлены нормированные ДН и угловые зависимости контраста мощности излучения лазеров ЛД 1, ЛД 3, ЛД 5 и ЛД 7. Видно, что контраст мощности излучения в пределах ДН не изменяется и, как и в случае коллимированного излучения, близок к единице, а ДН описывается функцией, близкой к гауссовой в диапазоне углов от -15 до +15 градусов. Выявленный диапазон углов, в пределах которого ДН описывается гауссовой функцией, позволяет оптимизировать конструирование узла связи ЛД и оптоволокну. К оптоволокну предъявляется требование сохранения состояния поляризации вводимого излучения. Это требование выполняется известными технологическими решениями.

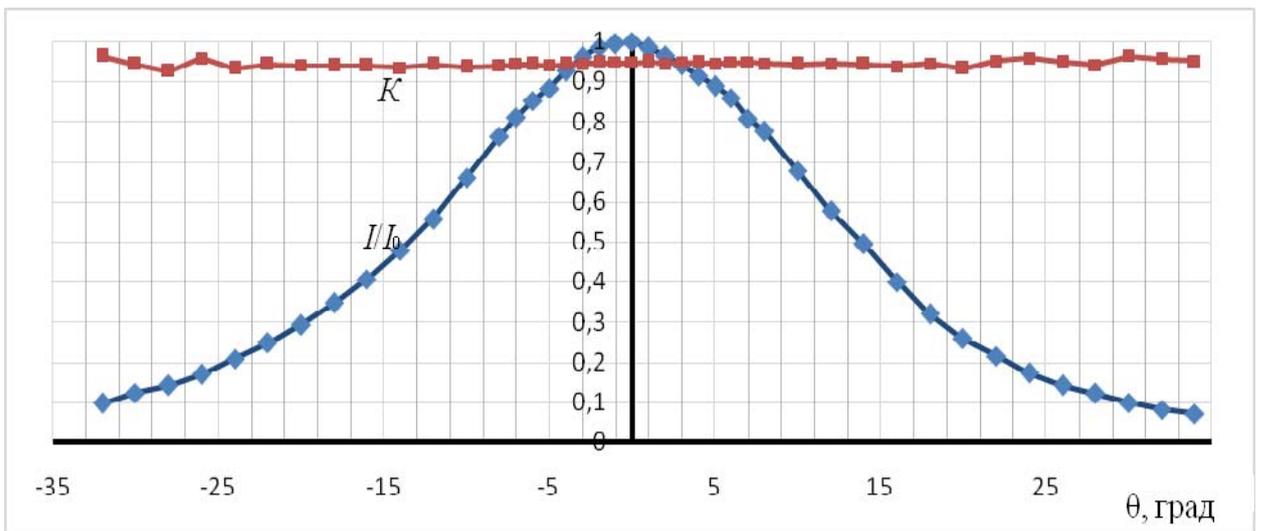


Рис. 4. Нормированная ДН и угловая зависимость контраста для ЛД 1

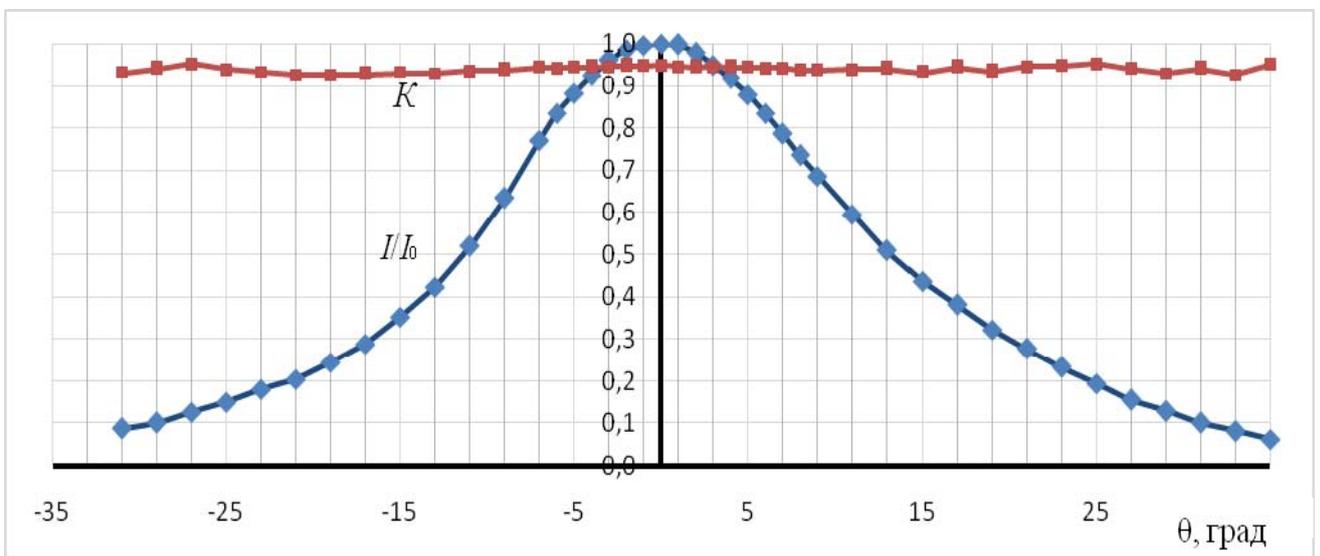


Рис. 5. Нормированная ДН и угловая зависимость контраста для ЛД 3

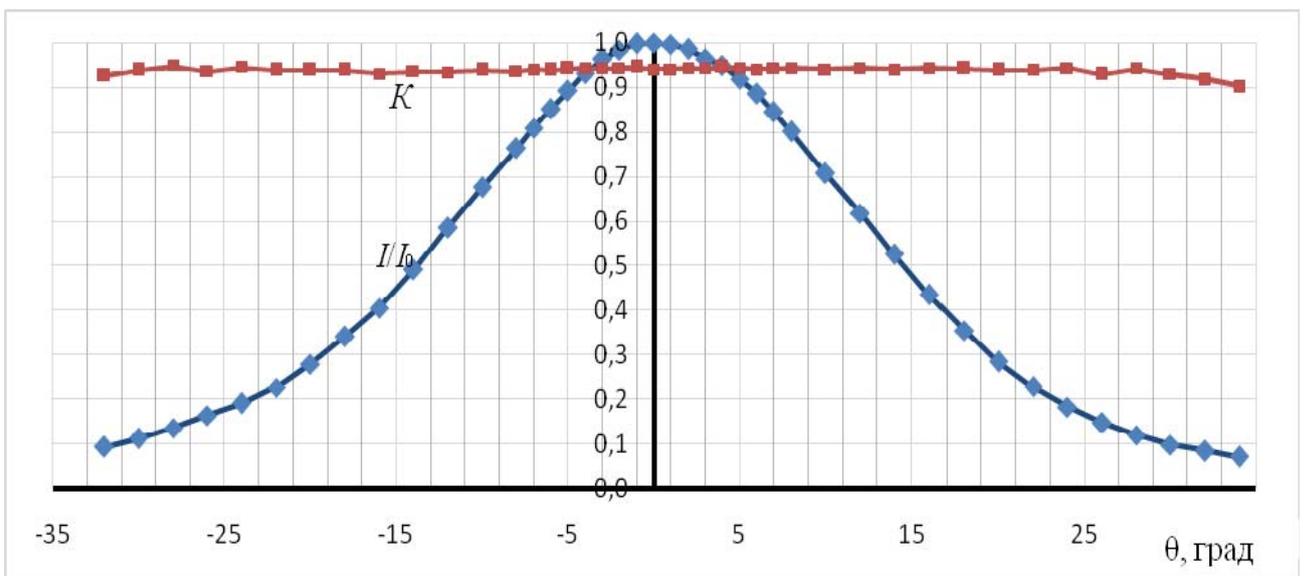


Рис. 6. Нормированная ДН и угловая зависимость контраста для ЛД 5

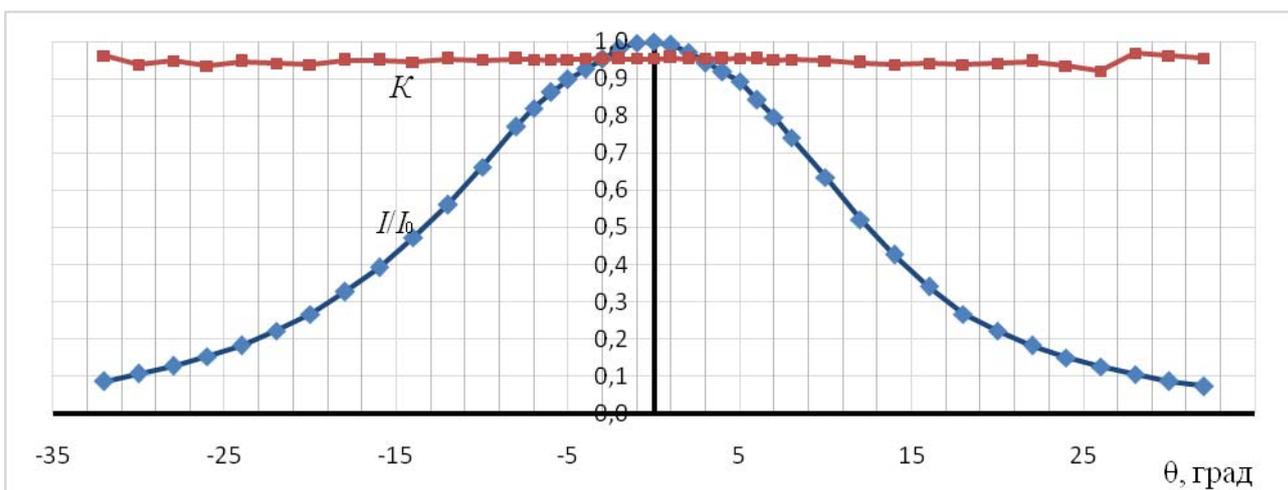


Рис. 7. Нормированная ДН и угловая зависимость контраста для ЛД 7

Измерение контраста коллимированного излучения зеленых ЛД

Известно, что величина доплеровского сдвига частоты обратно пропорциональна длине волны излучения в соответствии с формулой (2).

$$f_D = \frac{2v}{\lambda} \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (2)$$

где f_D – доплеровский сдвиг частоты, v – проекция скорости рассеивающих частиц, движущихся в потоке газа или жидкости, на ось, перпендикулярной биссектрисе угла между пучками, λ – длина волны излучения, α – угол сведения пучков.

Следовательно, чувствительность ЛДА возрастает при уменьшении длины волны диагностирующего излучения. Поэтому актуален поиск ЛД с меньшей длиной волны излучения. В качестве таких источников могут быть использованы ЛД модели KLM-D532-3-5 с длиной волны генерации 532 нм. Состояние поляризации излучения этих лазеров также может быть охарактеризовано контрастом его мощности. В таблице 2 приведены контрасты коллимированного излучения лазеров этой серии.

Таблица 2. Контраст коллимированного излучения семи лазеров модели KLM-D532-3-5 с длиной волны 532 нм при напряжении питания 3 В

№	Контраст
ЛД 1	0,556
ЛД 2	0,740
ЛД 3	0,567
ЛД 4	0,552
ЛД 5	0,812
ЛД 6	0,758
ЛД 7	0,784

Из таблицы видно, что ЛД модели KLM-D532-3-5 характеризуются не только сильным разбросом значений контраста мощности их излучения, но и их низким уровнем, в особенности, сравнительно с лазерами серии KLM-D650-3-15. В связи с этим возникает необходимость выбора ЛД рассматриваемой серии с наибольшим значением контраста для минимизации энергетических потерь при селекции ТЕ-компоненты. При этом приходится

констатировать, что эти потери даже при контрасте 0.8 достигают 10%. Таким образом, эффективность использования ЛД с длиной волны генерации 0,532 мкм в значительной мере зависит от состояния поляризации таких ЛД и требует дополнительного анализа. Проведение такого анализа предполагается провести в ближайшем будущем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования поляризационных характеристик девяти ЛД с планарным волноводом модели KLM-D650-3-15 показали, что контраст мощности таких лазеров из одной партии практически постоянен и близок к единице. Такой контраст позволяет полностью согласовывать излучение ЛД данной модели по поляризации без уменьшения общего КПД в ходе поляризационной селекции ТЕ-компоненты. Излучение таких ЛД можно транспортировать по оптическому волокну, что позволяет расширить функциональные возможности ЛДА.

Несмотря на то, что ЛД модели KLM-D532-3-5 имеют меньшую длину волны, чем ЛД модели KLM-D650-3-15, а значит, в принципе позволяют увеличить чувствительность ЛДА, их использование в настоящее время крайне затруднительно из-за низкого контраста мощности. Это связано с тем, что при низком контрасте мощности селекция ТЕ-компоненты возможна только при значительных, свыше 10%, потерях мощности излучения. Поэтому из всех ЛД, генерирующих излучение в видимой области спектра, целесообразно выбирать в качестве источников излучения в ЛДА ЛД с максимальным контрастом мощности излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Брысин Н. Н.** Разработка лазерного доплеровского анемометра для контроля скорости ветра в приземном слое атмосферы. (Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук) – М., 2005, 168 с.
2. Основы оптической радиометрии / Под ред. проф. А.Ф. Котюка. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2003. – 544 с.

V. A. Parshin, V.V. Bliznyuk, V.I. Chugunkov

*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 imposed increasingly high demands not only on the accuracy of the measuring instruments, but also to their size and power consumption. Minimization of the geometric dimensions of the instrument due to their use in industrial complexes and systems of various types. In particular it is known [1], in which the subject is given special attention. Small size systems allow to place within them a greater number of different elements and, thereby, extend the functionality. The most accurate is now a device that measures the velocity of the gas flow and liquid flow, is a laser Doppler anemometer (LDA). For practical implementation of circuits necessary LDA stabilized power and frequency of the radiation source. At the same time minimizing the size of LDA, while maintaining the required parameters is achieved by use as a source of radiation of semiconductor laser diodes (LDs), optimized spectrum and polarization of the radiation power.

LASER DOPPLER ANEMOMETRY, LASER DIODES, CONTRAST OF POWER, TE AND TM COMPONENTS