

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621.378.325

РАЗРАБОТКА МАРКЕРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЮСТИРОВКИ КАНАЛА НЕОДИМОВОГО ЛАЗЕРА

© 2016 г. С. А. Бельков, доктор физ.-мат. наук; И. И. Соломатин; М. С. Глушков;
В. Е. Гаганов; А. В. Виноградов; А. В. Андраманов

Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики,
Институт лазерно-физических исследований, г. Саров, Нижегородская обл.

E-mail: MUmike7@rambler.ru

Приведено описание оптической схемы стенда для отработки системы автоматической юстировки канала неодимового лазера. Исследованы образцы лазерных диодов, применяемые на стенде. Разработана маркерная сеть на основе лазерных диодов. Выбран вариант расположения маркеров. Представлен алгоритм автоматической юстировки на основе маркерной сети. Описано специальное программное обеспечение – Управляющая Программа.

Ключевые слова: маркерная сеть, система автоматической юстировки, лазерный диод, реверсор, пространственный фильтр, датчик силового усилителя.

Коды OCIS: 140.0140; 140.3530; 220.1140

Поступила в редакцию 28.01.2016

Необходимость разработки системы автоматической юстировки (САЮ) многоканального неодимового лазера определяется как большим количеством оптических элементов (ОЭ), требующих подстройки в каждом опыте, так и конструктивными особенностями их компоновки. Большая часть этих элементов находится в откваченных кессонах, коробах и других труднодоступных местах. Ручная настройка потребует большого количества настройщиков.

Задачей САЮ усилительного канала является проведение без участия персонала финальной настройки его оптической схемы. Под автоматической юстировкой понимается окончательная настройка ОЭ, имеющих дистанционное управление по определенному алгоритму, чтобы рабочее излучение проходило через центры диафрагм пространственных фильтров и центры апертур зеркал.

Классический метод настройки сложных оптических систем включает использование излучения настроечного лазера, по которому последовательно настраиваются все элементы.

Автоматическая юстировка используется в четырехпроходных схемах установок “NIF” [1] и “LMJ” [2] и основана на применении системы оптоволоконных маркеров.

Маркерный метод юстировки состоит в контроле с помощью цифровых фотокамер взаимного положения центров ОЭ, каждый из которых снабжен парой маркеров. Центр каждого элемента при этом задается серединой отрезка, соединяющего маркеры.

В настоящей работе описана маркерная сеть на основе лазерных диодов (ЛД). Отработка маркерной сети проводилась на стенде САЮ (рис. 1). Схема повторяет принципиальное размещение элементов установки “LMJ” и включает зерка-

ло торцевое (ЗТ), зеркало реверсора (ЗР), кюветный пространственный фильтр (КПФ), транспортный пространственный фильтр (ТПФ) и датчик силового усилителя (ДСУ).

Позиционирование пучков на апертурах оптических компонентов в САЮ должно осуществляться с точностью не хуже 0,25% от размера апертуры, а позиционирование пучков на диафрагмах пространственных фильтров – с точностью не хуже 2,5% от их диаметров, продолжительность юстировки не должна превышать 5 мин.

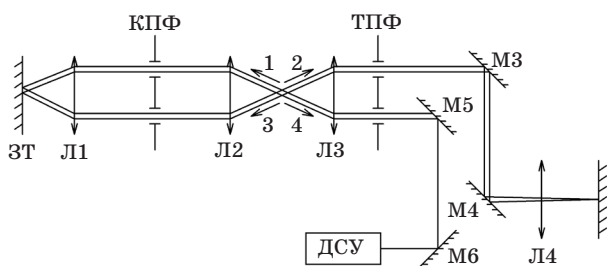


Рис. 1. Схема стенда САЮ. Цифрами со стрелками обозначены номера проходов и направления распространения лазерного излучения. Пояснения – в тексте.

Маркерами снабжены ЗТ, ЗР и диафрагменные узлы пространственных фильтров.

На стенде применяется система маркеров на основе ЛД, излучающих в области 1060 нм, что очень близко к рабочей длине волны неодимового лазера (1053 нм). Максимальная мощность составляет 200 мВт. На рис. 2 приведены внешний вид, спектр излучения и графики углового распределения излучения ЛД.

Так как фокусное расстояние линз (Л1, Л2, Л3, Л4, рис. 1) зависит от длины волны излучения, ее необходимо измерять у каждого ЛД. Из графика спектра излучения диода (рис. 2б) видно, что он имеет максимальную мощность излучения на длине волны 1067,4 нм. Разница фокусного расстояния пятнадцатиметровой линзы между рабочей длиной волны лазера и данным образцом ЛД составит примерно сантиметр, что сравнимо с длиной каустики, поэтому не влияет на точность поперечной настройки. Данные графика углового распределения излучения ЛД (рис. 2в) необходимы для оценки эффективности заполнения апертур линз излучением ЛД. На рис. 2г приведен график углового распределения лазерного излучения в диапазо-

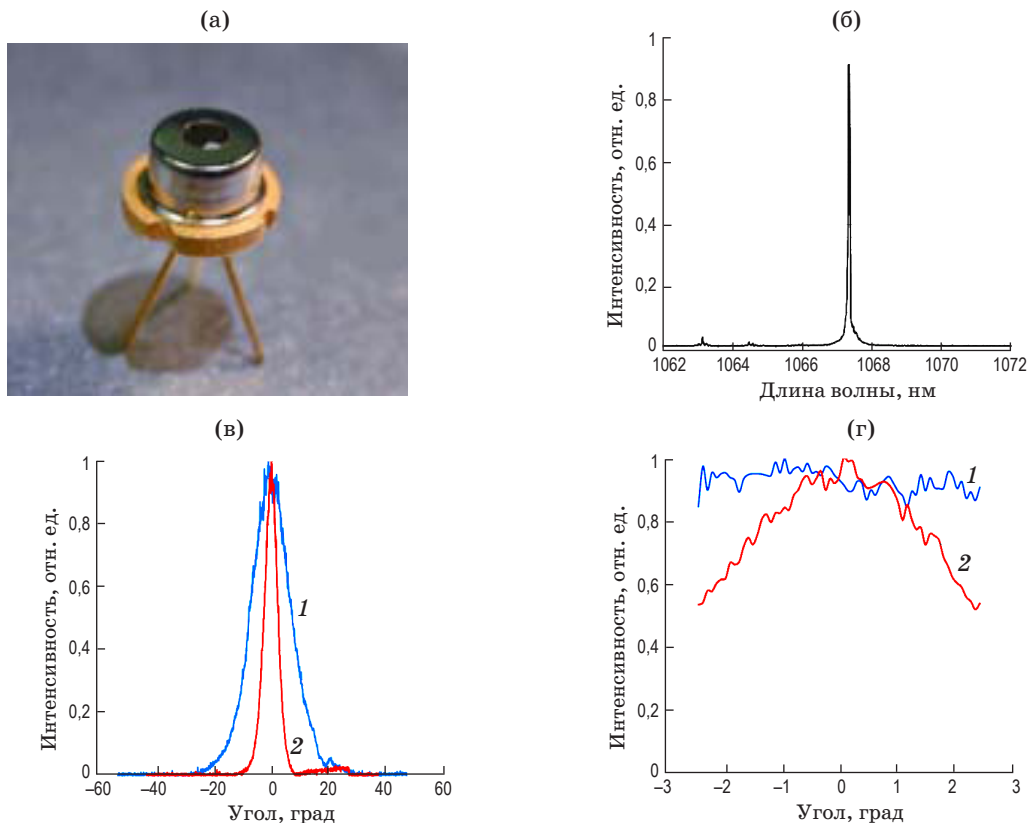


Рис. 2. Внешний вид ЛД (а), спектр его излучения (б), угловые распределения излучения ЛД в центральных взаимно-перпендикулярных сечениях (в: 1 – по оси x , 2 – по оси y), в диапазоне от $-2,5$ до $2,5^\circ$ (г: 1 – по оси x , 2 – по оси y).

не от $-2,5$ до $2,5^\circ$. Именно такая часть углового распределения проходит через линзы Л1, Л2 и Л3, образующие пространственные фильтры. Эффективность заполнения целесообразно выбирать по оси с меньшей расходимостью. Можно сделать вывод, что выбранная модель ЛД имеет длину волны, угловое распределение излучения, мощность и геометрические размеры, которые отвечают задачам работы стенда и дальнейшего использования маркеров в САЮ многоканального неодимового лазера.

Количества ОЭ на пути распространения излучения от разных маркеров до матрицы ДСУ значительно разнятся. Интенсивности излучения отдельных ЛД на матрице ДСУ могут не совпадать из-за разброса световых характеристик и точности монтажа. В разных режимах юстировки одни и те же маркеры могут светить непосредственно в ДСУ или после проходов по тракту. На матрице ДСУ интенсивность излучения разных маркеров должна быть примерно одинаковой, поэтому предусмотрена индивидуальная настройка интенсивности свечения каждого из ЛД с помощью специально созданного блока питания, расположенного в стойке системы автоматического управления.

Первая пара световых маркеров находится на ЗТ по горизонтали. Вторая пара маркеров расположена на ЗР по вертикали. Маркеры ЗТ и ЗР предназначены для совмещения изображений апертур этих зеркал при юстировке по апертуре.

Для настройки схемы по угловому распределению излучения используются маркеры, расположенные в диафрагменных узлах пространственных фильтров. Две пары маркеров расположены на юстировочной пластине ТПФ, а две другие пары находятся на юстировочной пластине КПФ. Маркеры КПФ и ТПФ необходимы для совмещения изображений диафрагм пространственных фильтров.

На рис. 3 приведены эскизы юстировочных пластин пространственных фильтров ТПФ и КПФ.

На пластинах вместо диафрагм пространственных фильтров вырезаны квадратные области (поле ТПФ2, поле ТПФ3, поле ТПФ4, поле КПФ1, поле КПФ2, поле КПФ3, поле КПФ4). Цифры в названии полей обозначают номера проходов лазерного излучения. Ось каждого прохода совпадает с центром соответствующего поля. Оси четырех проходов образуют квадрат размером 50×50 мм. Расположение ЛД

и направление их свечения так же можно видеть на рис. 3.

Датчик силового усилителя размещается вблизи диафрагменного узла ТПФ. Оптическая схема ДСУ приведена на рис. 4. Излучение маркеров заводится на фотокамеру двумя поворотными зеркалами М5, М6. Датчик позволяет получать изображения маркеров диафрагменных узлов, маркеров ЗТ и ЗР. Регистрация изображений осуществляется цифровой камерой с максимальным разрешением 1280×1024 пиксела, размер одного пиксела $6,7$ мкм.

Камера установлена на линейном моторизованном трансляторе, что позволяет реализовать ее дистанционное продольное перемещение. Это обеспечивает возможность получать изображения не только маркеров диафрагменных узлов, ЗТ и ЗР, но и всех промежуточных плоскостей, в том числе и плоскостей линз пространственных фильтров.

Оптическая система датчика строит изображение поля ТПФ4 с коэффициентом уменьшения, равным 4. Размер поля наблюдения при этом составляет 36×28 мм. Оптическое разре-

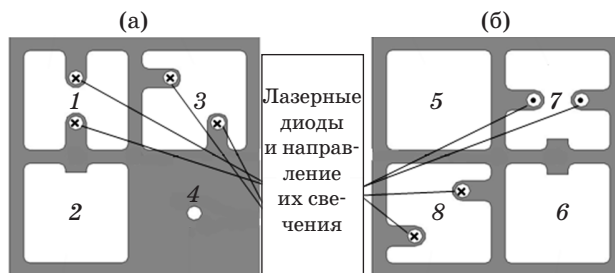


Рис. 3. Юстировочные пластины ТПФ (а) и КПФ (б) (вид в направлении наблюдения на ЗР). Поля 1 – ТПФ2, 2 – ТПФ3, 3 – ТПФ4, 4 – диафрагма ТПФ1; поля 5 – КПФ1, 6 – КПФ2, 7 – КПФ3, 8 – КПФ4.

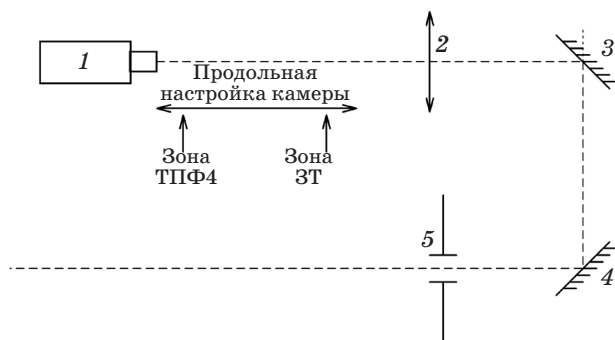


Рис. 4. Оптическая схема ДСУ. 1 – фотокамера, 2 – объектив, 3 – зеркало М5, 4 – зеркало М6, 5 – ТПФ4.

шение матрицы 1280×1024 в плоскости ТПФ составит 28 мкм ($0,5\%$ от диаметров пятимиллиметровых диафрагм пространственных фильтров). Полученное значение соответствует поставленным задачам.

В случае регистрации изображения ЗТ оптическая система датчика совместно с оптикой макета усилительного канала строит изображение плоскости ЗТ с коэффициентом уменьшения, равным 72 . Размер поля наблюдения в случае настройки на ЗТ составляет $610 \times 480 \text{ мм}$. Оптическое разрешение матрицы 1280×1024 в плоскости ЗТ составит $0,5 \text{ мм}$ ($0,1\%$ от апертуры ЗТ). Полученное значение соответствует поставленным задачам.

Световые маркеры ЗТ являются базовыми при настройке по апертуре. Центр отрезка, соединяющего изображения маркеров ЗР, совмещается с центром отрезка, соединяющего изображения маркеров ЗТ.

Световые маркеры ТПФ4 являются базовыми при настройке пространственных фильтров. Центры отрезков, соединяющих изображения маркеров КПФ4, КПФ3 и ТПФ2, совмещаются с центром отрезка, соединяющего изображения маркеров ТПФ4. Относительно базовых центров определяются разъюстировки (векторы ошибок). Если разъюстировка превышает допустимую, то вычисляются управляющие команды, выполнение которых должно привести к требуемому взаимному положению ОЭ. Команды посылаются на приводы исполнительных механизмов ОЭ. После их отработки вновь контролируется взаимное положение маркеров.

В САЮ участвуют элементы, требующие подстройки в каждом опыте и имеющие дистанционное управление. Автоматическая юстировка осуществляется при условии, что датчики САЮ регистрируют расхождение. В случае, если видны не все маркеры, нужно провести ручную настройку или ремонт оборудования. Автоматическая юстировка считается выполненной, если устранены все рассогласования по датчикам САЮ. На рис. 5 представлена схема алгоритма автоматической юстировки.

Разработанный алгоритм автоматической юстировки, имеет следующую последовательность действий:

1. Совмещение изображений апертур ЗТ и ЗР (рис. 5а).

Настройка проводится зеркалом М4, имеющим дистанционное управление. Этим элементом устраняется несовпадение центров отрез-

ков, соединяющих изображения маркеров ЗТ и ЗР на матрице ДСУ.

2. Настройка диафрагмы КПФ4 (рис. 5б).

Настройка проводится диафрагменным узлом КПФ, имеющим дистанционное управление. Этим элементом устраняется несовпадение середин отрезков, соединяющих изображения маркеров КПФ4 и ТПФ4 на матрице ДСУ.

3. Настройка диафрагмы КПФ3 (рис. 5в).

Настройка проводится ЗТ, имеющим дистанционное управление. Этим элементом устраняется несовпадение середин отрезков, соединяющих изображения маркеров КПФ3 и ТПФ4 на матрице ДСУ.

4. Настройка диафрагмы ТПФ2 (рис. 5г).

Настройка проводится ЗР, имеющим дистанционное управление. Этим элементом устраня-

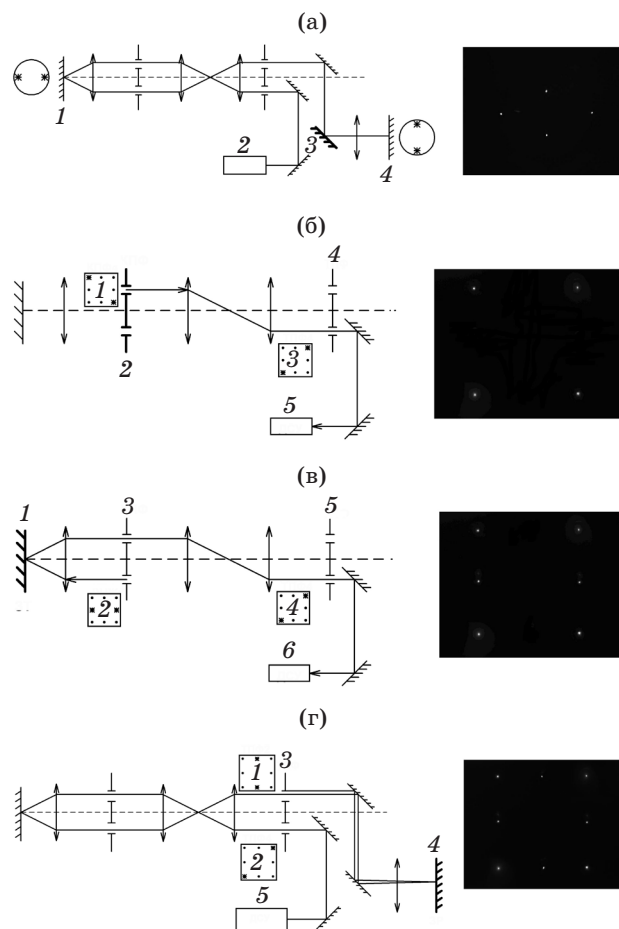


Рис. 5. Алгоритм автоматической юстировки. Совмещение изображений апертур ЗТ и ЗР (а: 1 – ЗТ, 2 – ДСУ, 3 – зеркало М4, 4 – ЗР), настройка диафрагмы КПФ4 (б: 1 – КПФ4, 2 – КПФ, 3 – ТПФ4, 4 – ТПФ, 5 – ДСУ), настройка диафрагмы КПФ3 (в: 1 – ЗТ, 2 – КПФ3, 3 – КПФ, 4 – ТПФ4, 5 – ТПФ, 6 – ДСУ), настройка диафрагмы ТПФ2 (г: 1 – ТПФ2, 2 – ТПФ4, 3 – ТПФ, 4 – ЗР, 5 – ДСУ).

ется несовпадение середин отрезков, соединяющих изображения маркеров ТПФ2 и ТПФ4 на матрице ДСУ.

Для осуществления автоматической юстировки стенда создано специальное программное обеспечение – Управляющая Программа.

Перед началом проведения автоматической юстировки каждый маркер должен находиться в своей области. Области допустимого начального положения каждого из маркеров очерчены рамками (рамками поиска). Размеры области поиска не должны превышать 200×200 пикселей. В случае попадания любого из маркеров за пределы рамки поиска или отсутствия маркера в поле зрения камеры нужно осуществить ручную или монтажную настройку.

Управляющая Программа содержит вкладку автонастройки. Исходное изображение с камеры в режиме настройки по апертуре помещается в верхнем окне “До юстировки” этой вкладки. Рамками указываются зоны поиска маркеров. Над рамками приводятся значения максимальной интенсивности каждого маркера. Пары маркеров ЗТ и ЗР соединены отрезками. На отрезках точками отмечаются их середины. Под окном в полях указываются координаты середины отрезка, соединяющего реперные маркеры, и начальные значения разъюстировки в пикселях.

Изображение с камеры после выполнения команд моторами помещается в верхнем окне “После юстировки”. Так же рисуются отрезки и указываются значения разъюстировки в пикселях.

В нижних окнах “До юстировки” и “После юстировки” приводятся изображения с камеры в режиме настройки по углу. Отрезками соединены реперные маркеры ТПФ4, а также маркеры КПФ4, КПФ3 и ТПФ2. В полях указываются

значения начальных и конечных разъюстировок. Время проведения юстировки 3 мин.

Настройка интенсивности свечения всех маркеров осуществляется в отдельной вкладке программы в ручном или автоматическом режиме. После чего данные о напряжении, подаваемом на каждый из маркеров, заносятся в память и используются при последующих включениях. Новая настройка интенсивности излучения маркеров проводится по мере необходимости.

В окне программы имеется вкладка для ручной настройки. На вкладке выделено семь областей, каждая из которых содержит заголовок элемента управления и специальный “переключатель”, активирующий управляющие кнопки приводов. Стрелки на кнопках показывают направление перемещения элемента с приводом или направление движения маркеров по изображению на экране программы при нажатии кнопки. Для каждого перемещения имеется возможность выбора количества шагов и скорости вращения шагового двигателя. В этом режиме можно провести предварительную ручную настройку всех дистанционно управляемых элементов.

В верхней части вкладки расположены группы кнопок управления перемещением зеркала М5 и продольным перемещением камеры ДСУ.

В центре двухрежимная панель с кнопками управления заводящими зеркалами М1 и М2 (не указаны на рис. 1). В первом режиме зеркал управляются независимо, во втором – каждый набор кнопок (джойстик) осуществляет одновременное управление двумя зеркалами для раздельной настройки по апертуре и углу.

В нижней части вкладки последовательно расположены джойстики зеркала М3, диафрагмы КПФ, ЗТ и ЗР.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Boege S.J., Bliss B.S., Chocoi C.J., Holdener F.R., Miller J.L., Toeppen J.S., Vann C.S., Zacharias R.A. NIF pointing and centering systems and target alignment using a 351 nm laser source // Proc. Soc. Photo-Opt. Instrument. Eng. 1997. V. 3047. P. 248.
2. Hilsz L., Challos S., Nicaise F., Luttmann M., Adolf A. Redesign of the image processing techniques used for the alignment of the LMJ Amplifier Section // Proc. Soc. Photo-Opt. Instrument. Eng. 2010. V. 7797. № 77970A. P. 1–14.