

УДК 53.08:004

### Разработка автоматизированного юстировочного устройства

**А.А. Воробьев<sup>1</sup>, М.В. Костина<sup>2</sup>, И.В. Лобко<sup>3</sup>, С.О. Омельченко<sup>4</sup>, И.Е. Титов<sup>5</sup>**

*<sup>1,2,3,4</sup> Студент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства», г. Москва, Россия*

*<sup>5</sup> Аспирант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Компьютерные системы и сети», г. Москва, Россия*

*Научный руководитель: А.Н. Гловов, старший преподаватель кафедры  
«Радиоэлектронные системы и устройства», г. Москва, Россия*

Для проведения лабораторных работ по изучению принципов работы и конструкции твердотельного лазера и исследования характеристик лазерного излучения, сотрудниками и студентами кафедры «радиоэлектронные системы и устройства» был разработан учебный автоматизированный лазерный стенд. Его особенностью является возможность удаленного управления параметрами лазера и проведения измерений. Доступ к системе управления может осуществляться с любого электронно-вычислительного устройства (персональный компьютер, планшет, смартфон), подключенного к сети Интернет посредством любого современного веб-браузера.

Необходимость в системе удаленного управления вызвана рядом причин. Одна из них состоит в том, что высокоинтенсивное лазерное излучение является опасным для органов зрения человека, находящегося вблизи лазера. Кроме того, проведение лабораторных работ в удаленном режиме в любое время суток позволит значительно увеличить пропускную способность лаборатории.

Программная часть системы управления лазерным стендом разработана в среде визуального программирования LabVIEW. Эта среда хорошо приспособлена для создания автоматизированных систем управления, имеет большое количество готовых драйверов измерительных приборов и отличается легкостью освоения.

Основой стенда является импульсно-периодический твердотельный лазер на основе

алюмоиттриевого граната. Упрощенная схема лазера представлена на рисунке 1.

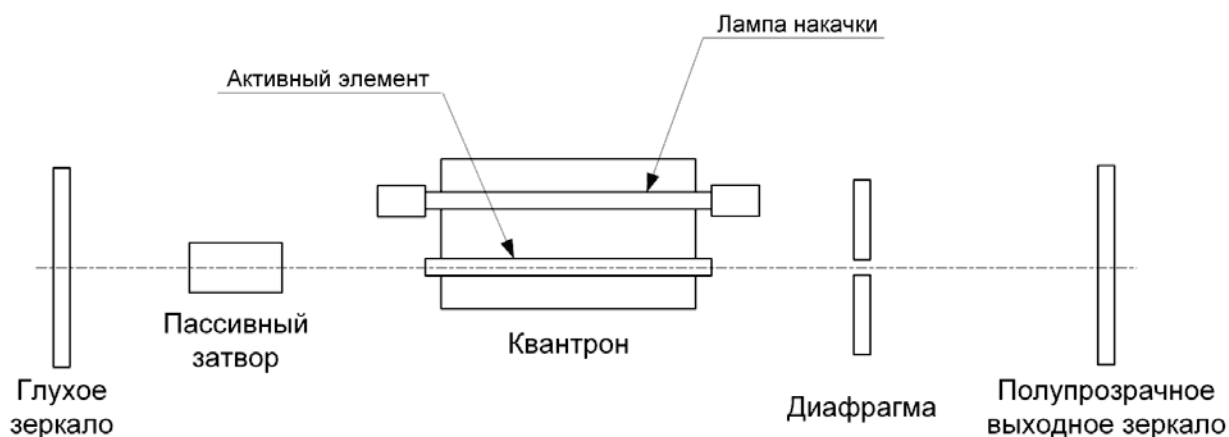


Рис. 1. Упрощенная схема импульсного лазера

Генерация лазерного излучения осуществляется в резонаторе, образованном двумя плоскими зеркалами, одно из которых является глухим, а другое — полупрозрачным для обеспечения вывода энергии из резонатора. Строгой параллельностью зеркал резонатора достигается многократность прохождения в нем лазерного излучения.

В качестве модулятора добротности резонатора используется пассивный затвор. Возможна смена затвора путем вращения восьмигранного барабана, на боковых сторонах которого закреплены кристаллы  $\text{LiF:F}_2$  с различными коэффициентами начального пропускания.

Кроме того возможна смена выходного зеркала путем вращения диска, на котором закреплено восемь зеркал с различными коэффициентами отражения.

Одной из проблем, возникающих в процессе использования стенда, является нарушение юстировки оптической схемы лазера. Под юстировкой понимается такое взаимное расположение оптических элементов, которое необходимо для осуществления генерации лазерного излучения с наибольшей эффективностью (в данном случае — с максимальной энергией выходного излучения), а так же процесс достижения такого положения.

Разъюстировка может происходить из-за тепловых деформаций элементов, крепежных приспособлений, оптической скамьи. Также она возникает при смене оптических элементов. В связи с этим возникает потребность в устройстве для автоматического проведения юстировки.

К разрабатываемому устройству предъявлялись следующие требования:

1. Возможность установки на оптическую скамью, на которой смонтирован лазерный стенд;

2. Возможность проводить юстировку оптических элементов различных форм и размеров, вращая их двух плоскостях — поперечной и вертикальной;

3. Оценка качества юстировки должна выполняться по максимуму выходной энергии излучения, которая будет определяться измерителем энергии лазерного излучения;

4. Юстировка должна осуществляться по заданному алгоритму в автоматическом режиме без участия оператора;

5. Устройство должно управляться с помощью персонального компьютера. Управляющая программа должна быть реализована в среде визуального программирования LabVIEW и иметь возможность интеграции в общую систему управления лазерным стендом.

Устройство было разработано на основе существующего регулируемого держателя оптических элементов. Его внешний вид представлен на рисунке 2. Устройство состоит из трех стальных колец цилиндрической формы, соединенных между собой так, что внутреннее кольцо вращается вокруг вертикальной оси среднего кольца, а среднее кольцо в свою очередь вращается вокруг поперечной оси внешнего кольца. Углы поворота задаются с помощью двух регулировочных винтов, размещенных на задней части внешнего кольца. Регулировочные винты вращаются с помощью двух шаговых электродвигателей, закрепленных на внешнем кольце. Вращение валов двигателей передается регулировочным винтам через скользящие муфты. На внутреннем кольце расположены тиски с V-образными зажимами, предназначенные для удержания оптических элементов. Держатель оптических элементов устанавливается на месте применения с помощью металлических стоек. Для соединения с ними на внешнем кольце предусмотрены резьбовые отверстия.

В данной работе предполагается, что юстировка лазера проводится путём вращения выходного зеркала. Однако разработанное устройство можно применять для юстировки различных элементов.

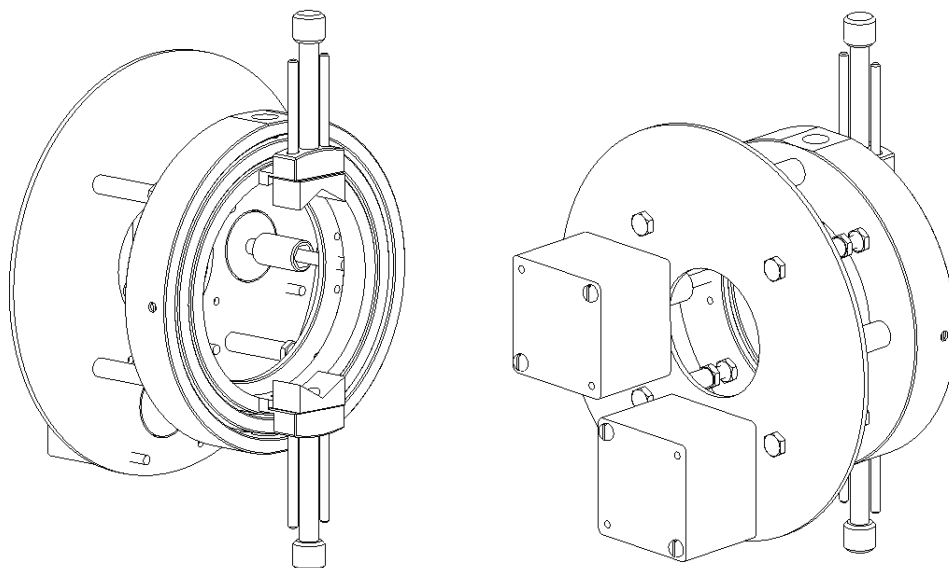


Рис. 2. Внешний вид автоматизированного юстировочного устройства

Система управления шаговыми двигателями состоит из двух частей: контроллера Arduino Uno и генераторов управляющих импульсов, к которым непосредственно подключаются двигатели и внешний источник питания. Программная часть реализована в среде визуального программирования LabVIEW и может быть интегрирована в общую систему управления лазерным стендом в виде набора подпрограмм (subVI).

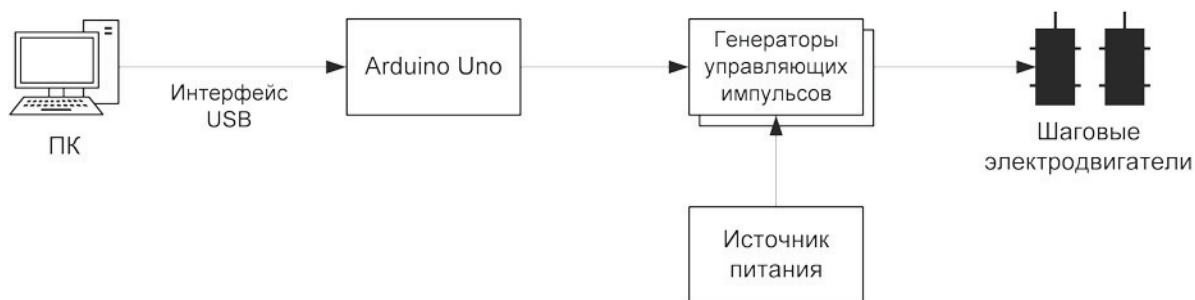


Рис. 3. Принципиальная схема системы управления юстировочным устройством

Управление шаговыми двигателями осуществляется следующим образом. Программа, разработанная в среде визуального программирования LabVIEW, с помощью стандартных драйверов контроллера Arduino, посылает команды через интерфейс USB на устройство Arduino Uno, которое через цифровые выходы пересылает сообщения на генераторы управляющих импульсов. В каждом сообщении содержится номер устройства, которому предназначена команда, направление вращения двигателя, количество шагов, которое нужно совершить, и длительность задержки между шагами. Использование

контроллера Arduino вызвано необходимостью управлять большим количеством шаговых двигателей, чего нельзя добиться, используя стандартные порты персонального компьютера.

Оценка качества юстировки производится по максимуму энергии лазерного излучения. Оптический элемент последовательно вращается в двух плоскостях с заданным шагом. После каждого шага генерируется импульс накачки и измеряется выходная энергия лазерного излучения.

Предусмотрено два режима работы устройства: режим сканирования и режим точной юстировки.

В режиме сканирования проводится серия измерений, при которых оптический элемент вращается вокруг своего исходного положения в относительно широком диапазоне по траектории, представленной на рисунке 4. При этом производится запись результатов измерений. Затем определяется максимальное значение энергии излучения и количество шагов электродвигателей, необходимое для того, чтобы вернуться в точку, в которой было проведено это измерение. Для наглядности возможно отображение результатов сканирования в виде трехмерного графика. Точность юстировки тем выше, чем меньше шаг между измерениями. Данный режим позволяет избегать случаев, когда система юстируется по локальному максимуму, не замечая областей, в которых достигается более высокая энергия излучения. Однако при сканировании в широком диапазоне с достаточно высокой точностью, требуется проведение очень большого количества измерений, что занимает много времени и негативно сказывается на ресурсе лазера, и в частности на ресурсе лампы накачки. Поэтому применение такого режима более уместно при использовании вспомогательного юстировочного лазера с непрерывным излучением.

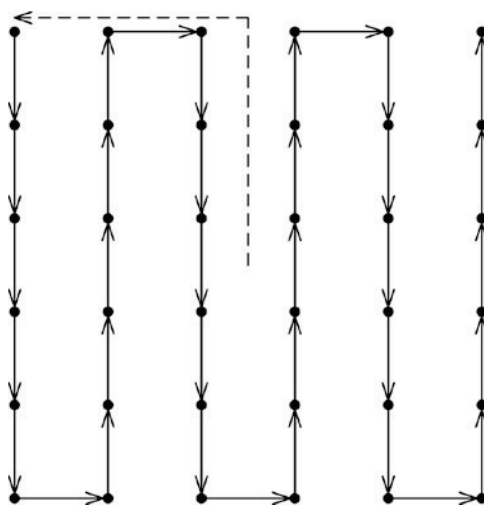


Рис. 4. Траектория вращения оптического элемента в режиме сканирования (центру рисунка соответствует исходное положение элемента, точки показывают моменты

### измерения энергии излучения)

В режиме точной юстировки проводится серия измерений, при которых оптический элемент вращается в одной плоскости, после чего он возвращается в положение, соответствующее максимуму энергии излучения. После этого процедура выполняется в другой плоскости вращения. Эти действия повторяются несколько раз, причем угол поворота элемента после каждого повторения может постепенно уменьшаться для обеспечения лучшей точности. Преимуществом этого метода является меньшее количество измерений, необходимых для выполнения точной юстировки.

При работе импульсного лазера возможны флуктуации значения энергии выходного излучения. Для того чтобы это явление не сказывалось на качестве юстировки, предусмотрена возможность проводить на каждом шаге не одно, а несколько измерений с последующим усреднением полученных результатов.

Разработанное устройство успешно решает задачу автоматической юстировки лазерного стенда. Оно также позволяет изучать влияние угла разъюстировки на характеристики лазера.

### Список литературы

1. Иванов В.А., Привалов В.Е. Применение лазеров в приборах точной механики. – Санкт-Петербург : Политехника, 1993.
2. Бондаренко Д.С. и др. Лазерная лаборатория удаленного доступа в учебном процессе МГТУ имени Н.Э. Баумана / Д.С. Бондаренко, А.А. Воробьев, А.Н. Глотов, М.С. Петров, И.Е. Титов // Шестая всероссийская школа для студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов по лазерной физике и лазерным технологиям. Сборн. докл. Под ред. док. физ.-мат. наук С.Г. Гаранина, 2012 г. – Саров : ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2012. – С. 24–28.