

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЮСТИРОВКИ ОПТИЧЕСКОГО ТРАКТА ЛАЗЕР – РОБОТА

Умнов В.П.<sup>1</sup>, Егоров И.Н.<sup>1</sup>, Белтран Х.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ), Владимир, Россия (600000, г. Владимир, ул. Горького, 87), e-mail: mex-rob@yandex.ru

Рассматривается лазер - робот, состоящий из источника излучения (СО<sub>2</sub>-лазера), транспортного манипулятора, оптической головки и лучепровода, расположенного внутри манипулятора. В процессе эксплуатации лазер – робот может происходить изменение углового положения отклоняющих зеркал вследствие температурных и упругих деформаций элементов конструкции манипулятора и лучепровода. Указанные отклонения могут привести к значительным не допустимым смещениям положения луча на фокусирующей линзе вплоть до потери работоспособности. Ввиду этого необходима постоянная юстировка компонентов оптического тракта в автоматическом режиме. Приведено обобщенное аналитическое представление оптической системы в виде блочных матричных четырехполюсников, с помощью которого могут вычисляться необходимые корректирующие воздействия в системе юстировки. С помощью компьютерного моделирования манипулятора, имеющего пять степеней подвижности, исследовано влияние смещений лазерного луча на его выходные параметры. Предложена структура автоматической системы юстировки и устройство датчика обратной связи (болметра). Приведены результаты компьютерного моделирования система юстировки, показавшие ее работоспособность.

Ключевые слова: лазер, лучепровод, юстировка, система управления, датчик

## SYSTEM OF AUTOMATIC ADJUSTING THE OPTICAL HIGHWAY LASER – ROBOT

Umnov V.P.<sup>1</sup>, Egorov I.N.<sup>1</sup>, Beltran J.G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Federal State budgetary educational institution of higher professional education «the Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs» (VISU), Vladimir, Russia (600000, Vladimir, Gorky street, 87), e-mail: mex-rob@yandex.ru

Is laser-robot consisting of radiation source (CO<sub>2</sub>-laser), transport manipulators, optical head and conductor ray, located inside the handle. During the operation of the laser-robot may be changing the angular position of deflecting mirrors due to thermal and elastic deformations of the design of the manipulator and conductor ray. These deviations can lead to significant not valid offsets the beam on a wide angle lens up to the loss of efficiency. In view of this, there is a need for continual adjustment components of the optic tract in automatic mode. Provides an analytical presentation of the optical system in the form of a block matrix of two-port networks, which may be the necessary corrective action in alignment system. Using computer simulation of manipulator with five degree of mobility, the influence of the movement of the laser beam on its output parameters. The structure of automatic alignment system and device sensor feedback (bolometer). The results of computer simulation system for alignment with its performance.

Keywords: laser, conductor ray, adjustment, control system, sensor

Не смотря на бурное развитие полупроводниковых и волоконных лазеров, СО<sub>2</sub> – лазер остается высокоэффективным инструментом, в особенности для резки материала большой толщины [ 1 ]. Для транспортировки излучения к объекту обработки СО<sub>2</sub> – лазер предполагает использование лучепровода, включающего систему зеркал и фокусирующую оптическую головку. При использовании роботов в их конструкцию изначально должны быть заложены особенности, обеспечивающие оптимальную с точки зрения малых потерь энергии и простоты транспортировку излучения в зону обработки. Такой лазер-робот должен состоять из источника излучения, транспортного манипулятора, оптической головки и лучепровода, расположенного внутри манипулятора. Размещение лучепровода внутри манипулятора

позволяет максимально использовать его кинематические возможности при обработке объектов сложной конфигурации [3].

В процессе эксплуатации лазер – работа может происходить изменение углового положения отклоняющих зеркал вследствие температурных и упругих деформаций элементов конструкции манипулятора и лучепровода. Указанные отклонения могут привести к значительным не допустимым смещениям положения луча на фокусирующей линзе вплоть до потери работоспособности. Ввиду этого необходима постоянная поднастройка (юстировка) компонентов оптического тракта в автоматическом режиме.

При аналитическом исследовании характеристик оптического тракта можно воспользоваться аналитическими выражениями, приведенными ниже. На отклоняющих зеркалах происходит изменение направления потока энергии излучения, сопровождающееся ее потерями. Поэтому преломления луча целесообразно характеризовать геометрическими параметрами и показателями потерь энергии, используя для этого совокупность своеобразных четырехполюсников [5]. В декартовых однородных координатах  $i$ -му преломлению лазерного луча будет соответствовать четырехполюсник:

$$HPV_i = D_{HPi} HPO_i, \quad (1)$$

где  $HPO_i$  и  $HPV_i$  - блочные векторы параметров на входе и выходе четырехполюсника,  $D_{HPi}$  - блочная диагональная матрица связи. Раскроем выражение (1):

$$\left\| \begin{array}{c} |H_{Vi}1|^T \\ |P_{Vi}1|^T \end{array} \right\| = \left\| \begin{array}{cc} T_{Vi} & 0 \\ 0 & T_{\eta i} \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} |H_{Oi}1|^T \\ |P_{Oi}1|^T \end{array} \right\|. \quad (2)$$

Здесь  $P_{Oi}, P_{Vi}, H_{Oi}, H_{Vi}$  - трехмерные векторы входных и выходных параметров мощности и положения лазерного луча;  $T_{\eta i}$  и  $T_{Vi}$  - однородные матрицы преобразования векторов. Эти матрицы имеют вид:

$$T_{Vi} = \left\| \begin{array}{cc} C\varepsilon_i & \xi_i \\ 0 & 1 \end{array} \right\|; T_{\eta i} = \left\| \begin{array}{cc} diag\eta_i & 0 \\ 0 & 1 \end{array} \right\|. \quad (3)$$

В выражениях (3)  $C\varepsilon_i$  - матрица направляющих косинусов размером 3x3 отклонения луча по обобщенной координате  $\varepsilon_i$ ;  $diag\eta_i$  - диагональная матрица размером 3x3 потерь энергии излучения.

На основании выражения (1) для всех преломлений лазерного луча можно записать:

$$HPV = DHP \cdot HPO, \quad (4)$$

где  $HPV = \left[ HPV_1, HPV_n \right]^T$ ;  $HPO = \left[ HPO_1, HPO_n \right]^T$ ;  $DHP = diag \left\| DHP_i \right\|$ ;  $i = \overline{1, n}$ .

Выражение (4) характеризует геометрические и энергетические показатели оптического тракта в связанных обобщенных координатах  $H$ . Для определения положения луча

относительно некоторого базиса  $MHO$  можно воспользоваться матричным однородным преобразованием:

$$MHV = DHV \cdot MHO, \quad (5)$$

где  $MHO$  и  $MHV$  - матрицы размером  $4 \times 4$ , определяющие ориентацию входного и сфокусированного отрезков луча и положение точки фокуса в базовой системе координат;

$$DHV = T_{v1} \cdot T_{v2} \dots T_{vn}.$$

Связь между  $H$  и  $\Pi$  - координатами можно определить рекуррентным матричным соотношением

$$HO = D\Pi\Pi \cdot \Pi V - HV, \quad (6)$$

где  $D\Pi\Pi = 2E$  - однородная скалярная матрица;  $\Pi V$  - вектор  $\Pi$ -координат, скорректированных системой юстировки.

На рисунке 1 представлен вид оптического тракта, встроенного в манипулятор лазер - робота. Манипулятор робота имеет пять степеней подвижности, три из которых поступательные и две вращательные, расположенные в оптической головке. Кроме этого в оптическом тракте имеется компенсационная петля, поворачивающая луч на 180 градусов и служащая для обеспечения постоянства длины оптического тракта при движении манипулятора. Источник лазерного излучения имеет мощность 5кВт, длину волны 10,6 мкм; зеркала лучепровода кремниевые

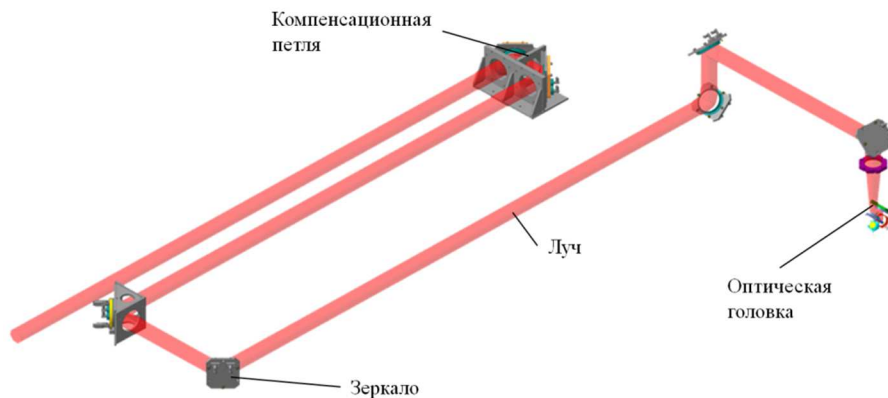


Рисунок 1 - Вид оптического тракта лазер – робота

Наряду с аналитическими методами исследования систем сегодня повсеместно применяются компьютерные технологии с использованием специализированных программных продуктов. На рисунке 2 приведена 3D компьютерная модель исследуемого оптического тракта, построенная с использованием пакета Zemax.

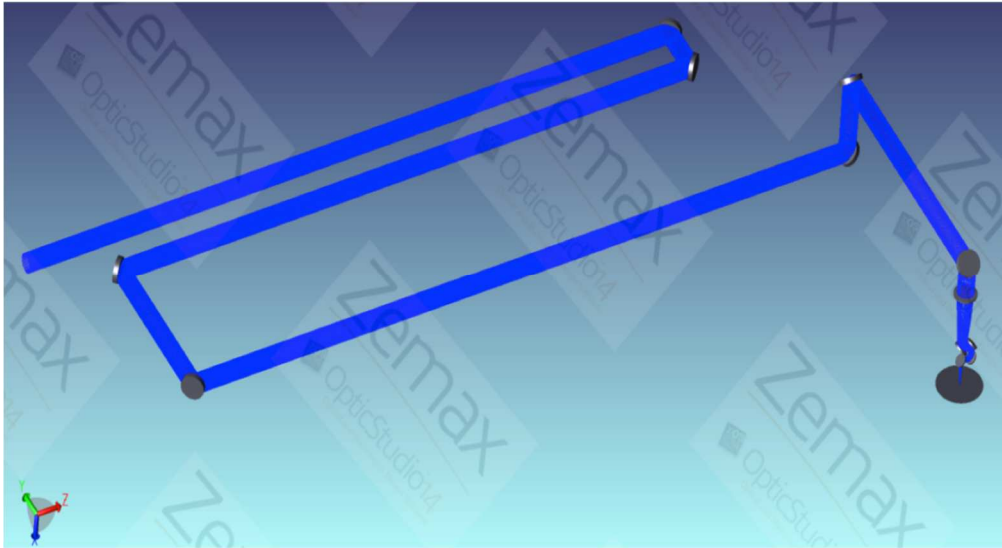
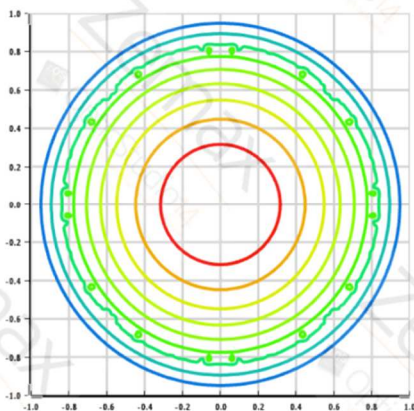
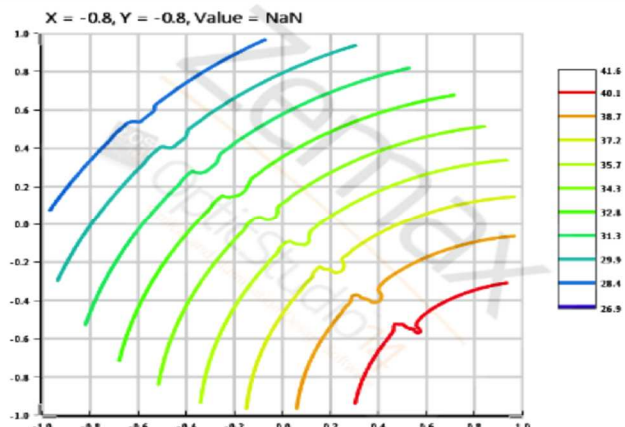


Рисунок 2- 3D компьютерная модель оптического тракта

Для построения системы автоматической юстировки оптического тракта выполнен анализ влияния смещений отклоняющих зеркал на положение луча на поверхности фокусирующей линзы. При отсутствии смещения волновой фронт излучения, приведенный на рисунке 3,а, имеет вид концентрических окружностей.



а)



б)

Рисунок 3 – Волновой фронт лазерного излучения

Максимальные искажения волнового фронта наблюдаются при угловых смещениях зеркала, наиболее удаленного от фокусирующей линзы (Рисунок 3,б). Эти смещения приводят к изменениям длины волны, представленные на рисунке 4.

Кроме приведенных зависимостей выполнен анализ влияния смещений зеркал на диаметр сфокусированного пятна, доказывающий на необходимость автоматической юстировки оптической системы.

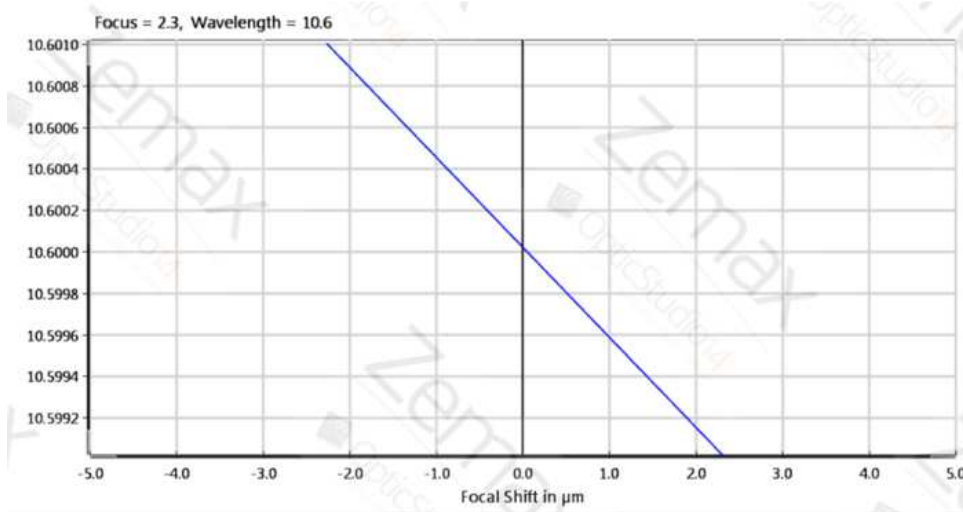


Рисунок 4 – Изменение длины волны при угловых смещениях зеркала

Поскольку автоматическая юстировка представляет собой систему стабилизации положения луча, необходим датчик обратной связи, в качестве которого может быть использован болометр [4], вид которого представлен на рисунке 5.

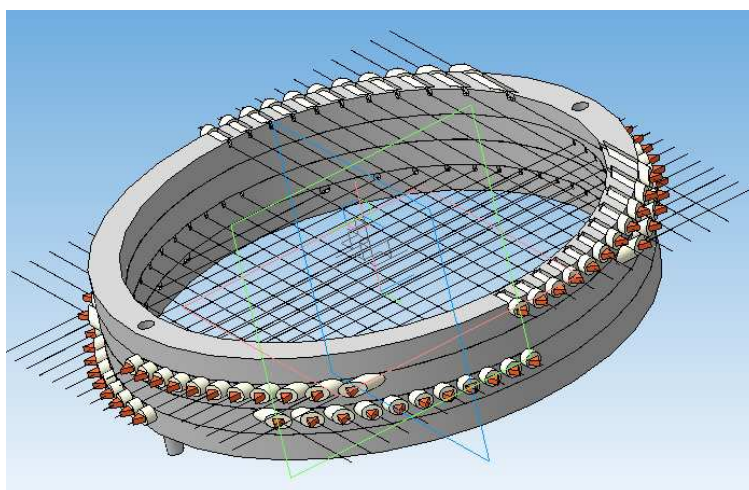


Рисунок 5 – Вид датчика

Датчик выполнен в виде четырёх соосных колец с чувствительными элементами, расположенными с шагом 1,5 мм на половине площади каждого кольца и выполненными из проволоки «нихром» марки X20H80, диаметром 20мкм. с изолированными керамическими капиллярами. Такое исполнение датчика, расположенного перед фокусирующей линзой, обеспечивает инвариантность измерений по координатным осям и позволяет оценить распределение плотности мощности в сечении луча. Для юстировочных перемещений отклоняющего зеркала может быть использован держатель фирмы Standa с пьезодвигателями, обеспечивающими наклон зеркала по двум осям с разрешением 1,25 мкм.

На рисунке 6 приведена структурная схема системы юстировки, в которой отражено, что сигнал с контроллера кроме пьезопроводов держателя направлен в систему управления

лазер – роботом для регулирования мощности источника излучения (при необходимости) диагностирования системы стабилизации и аварийного отключения лазера.

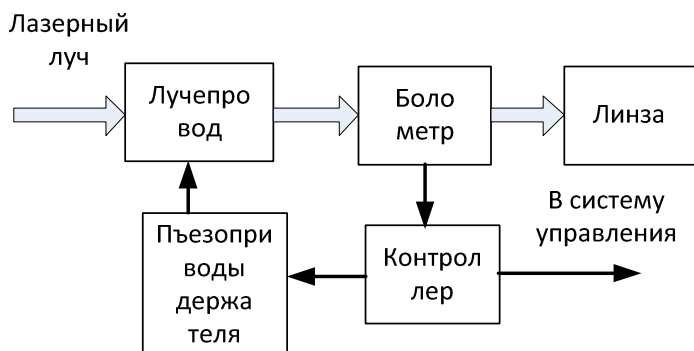


Рисунок 6 - Структурная схема системы юстировки

Пьезопроводы держателя имеют классическую структуру с внутренними контурами скорости и тока и ПИД – регуляторами, синтезированными на монотонный характер переходного процесса.

На рисунке 7 приведены результаты исследования привода юстировки на модели, построенной в интерфейсе Matlab r2014a с помощью библиотеки Simulink [2].

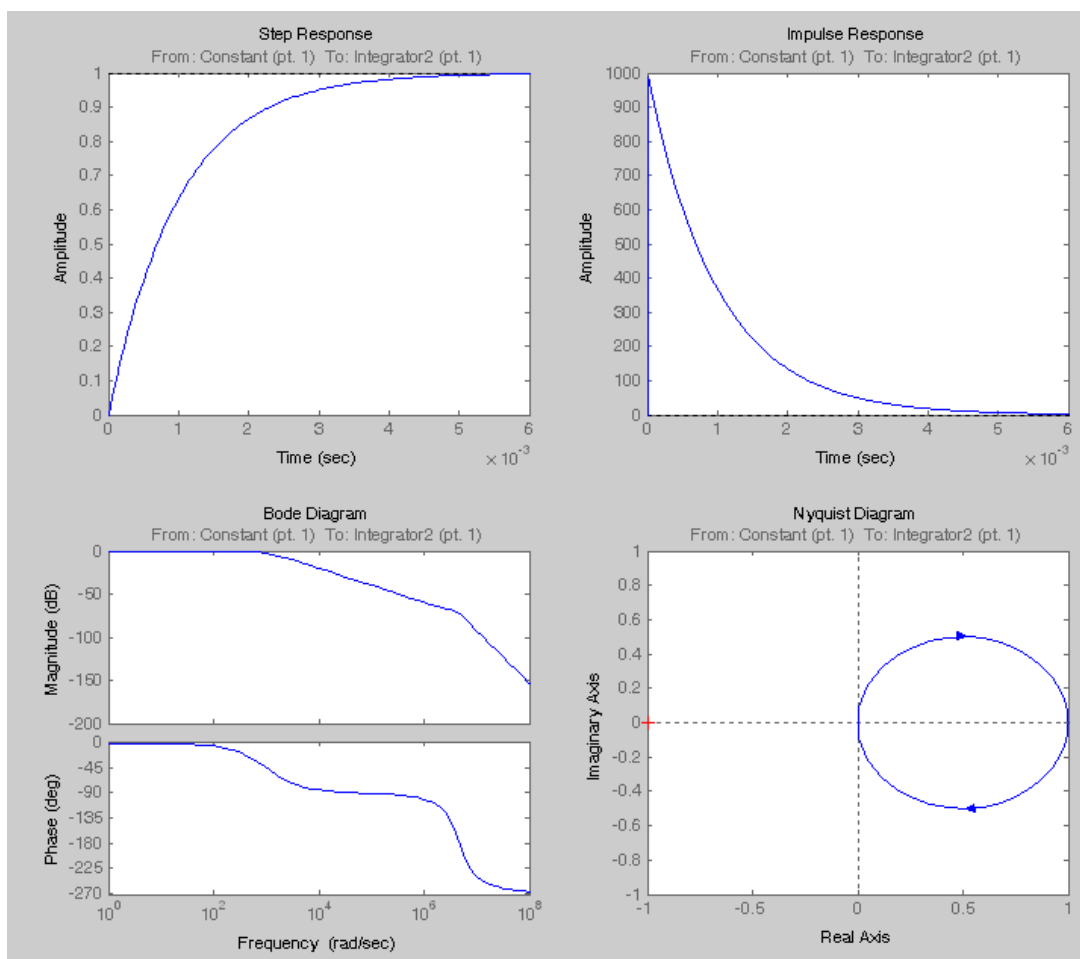


Рисунок 7 – Результаты исследования модели привода юстировки

Полученные результаты свидетельствуют о высоком быстродействии (эквивалентная постоянная времени  $1,2 \cdot 10^{-3}$  с) и устойчивости предложенной системы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-08-01364)*

### Список литературы

1. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Лазерная техника и технология: В 7 кн. Кн. 3. Методы поверхностной лазерной обработки / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высшая школа, 1987. – 191 с.
2. Дьяконов В.П. Компьютерная математика. Теория и практика / В.П.Дьяконов. - М.:Нолидж. - 2000. - 1296 с.
3. Егоров, И.Н. Многофункциональные манипуляционные исполнительные системы роботизированных технологических центров / И.Н. Егоров, В.П. Умнов // Проблемы машиностроения и автоматизации.- 2012.- №2. - С. 111-115.
4. Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов / В. В Пасынков, Л. К. Чиркин. - М.: Высшая школа, 1987. - 479 с.
5. Умнов В.П. Взаимосвязь компонентов и структурная модель манипулятора оптики лазер - работа / В.П.Умнов // Проблемы машиностроения и автоматизации.- 2010.- №3. - С. 46-52.

### Рецензенты:

Гоц А.Н., д.т.н., профессор, профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), г. Владимир.

Кульчицкий А.Р., д.т.н., старший научный сотрудник, главный специалист ООО «Завод инновационных продуктов «КТЗ», г. Владимир.