

## ИСПЫТАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО КОММУТАТОРА НА БАЗЕ ПРИВОДА С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ

Потанин Ю.С.<sup>1,2</sup>, Кобзев А.А.<sup>1</sup>, Сеньюшкин А.Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, Россия (600000, Владимир, ул. Горького, 87), e-mail: u1414@yandex.ru

<sup>2</sup> ФКП «ГЛП «Радуга», Радужный, Россия (600910, Владимирская область, Радужный), e-mail: [borsiki@yandex.ru](mailto:borsiki@yandex.ru)

---

В данной статье представлены описание и результаты испытаний оптического коммутатора на базе привода с параллельной кинематикой. Оптический коммутатор позволяет реализовать скоростное изменение положения оси излучения оптической системы. Наряду с функцией переключения, коммутатор обладает функцией автоюстировки оптического излучателя системы, элементы которого подвержены геометрическим искажениям в процессе работы и под влиянием климатических факторов. Для проведенных испытаний был создан стенд и смитированы разъюстировки юстировочного излучателя (угловые уводы оси излучения). Задачей коммутатора являлась компенсация увода оси юстировочного лазера с целью попадания его в центр экрана. В процессе испытаний фиксировались положения световых пятен на экране при активном и неактивном режиме автоюстировки коммутатора. На основе сравнения положений лазерных пятен были сделаны выводы о возможности и качестве автоюстировки излучения оптическим коммутатором.

---

Ключевые слова: параллельная кинематика, гексапод, электропривод, оптический коммутатор, автоюстировка, призма.

## TESTS OF OPTICAL SWITCH BASED ON DRIVE WITH PARALLEL KINEMATICS

Potantin Y.S.<sup>1,2</sup>, Kobzev A.A.<sup>2</sup>, Senyshkin A.G.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia (600000, Vladimir, Gorky Street, 87), e-mail: u1414@yandex.ru

<sup>2</sup> State Laser Polygon "Raduga", Raduzhnyi, Russia (600910, Vladimir region, Raduzhnyi), e-mail: [borsiki@yandex.ru](mailto:borsiki@yandex.ru)

---

In this article presents a description and the results of tests of the optical switch based on a drive with parallel kinematics. Optical switch allows for high-speed switching between positions of optical system's axis. Also, optical switch has the function of laser module's auto-aligning, whose elements undergo geometric distortion during their work and under the influence of climatic factors. There was created laser system for tests and simulated the misalignments of one module (angular axis distortions). The objective of the optical switch was adjustment of the module's radiation to hit it in the center of the target (paper screen). During the tests, the position of laser spots on the target was fixed with active and inactive auto-align mode. Based on a comparison of the position of laser spots conclusions were drawn about the possibility and quality of optical switch's auto-aligning.

---

Keywords: parallel kinematics, hexapod, electric drive, optical switch, auto-aligning, prism.

Оптический коммутатор – быстродействующий многоосевой манипулятор на базе цифровых электроприводов, чьим рабочим органом является призма или зеркало [4]. Оптический коммутатор позиционирует призму для скоростного изменения положения оси излучения в оптической системе. Наряду с функцией изменения положения оси, оптический коммутатор обладает возможностью автоюстировки – автоматической компенсации угловых уводов оси оптических излучателей (например, юстировочного излучателя системы) от эталонного направления. Данная способность полезна, если возможны уводы юстировочного излучателя (например, под влиянием под влиянием климатических факторов, вибрации и т.д.). Ранее, в такой ситуации, юстировка излучателей обеспечивалась встраиванием

клиновых компенсаторов (оптических клиньев). Наличие дополнительных юстировочных оптических элементов вызывает неизбежное затухание излучения и усложняет оптическую схему. Еще одним недостатком клиновых компенсаторов является невысокая скорость их работы. Данный недостаток вызван невозможностью применения в компенсаторах высокочастотных и, в то же время, миниатюрных приводов.

Функция автоюстировки оптического коммутатора базируется на построении главной обратной связи по положению оси излучения [3]. Данная связь охватывает всю оптическую систему в целом и позволяет избежать неполной наблюдаемости выходной координаты – положения оси юстировочного излучателя. Построение главной обратной связи базируется на создании измерительной системы, отводящей часть излучения с помощью светоделительных пластин на диффузный экран, и наблюдении за положением пятен. Фиксацию координат положения производит скоростная видеокамера, видеосигнал которой обрабатывается специальной программой. На основе положения световых пятен на экране вырабатываются необходимые управляющие воздействия для приводов оптического коммутатора и, при очередном позиционировании призмы, вносятся коррективы таким образом, чтобы компенсировать разъюстировки. Данное решение позволяет отказаться от излишней юстировочной оптики, упростить схему установки и отказаться от длительной операции ручной юстировки.

На базе ФКП «ГЛП «Радуга» был разработан быстродействующий оптический коммутатор на основе механизма с параллельной кинематикой типа «гексапод» [1]. Быстродействующий оптический коммутатор является 6-координатным манипулятором, осуществляющим, помимо изменения положения оптической оси, компенсацию разъюстировок излучателя [2, 5].

На рис. 1 представлен манипулятор оптического коммутатора, экспонировавшийся на выставке в составе II экономического форума «Владимирская область – территория динамичного развития» 30–31 мая 2014 года в городе Владимир.

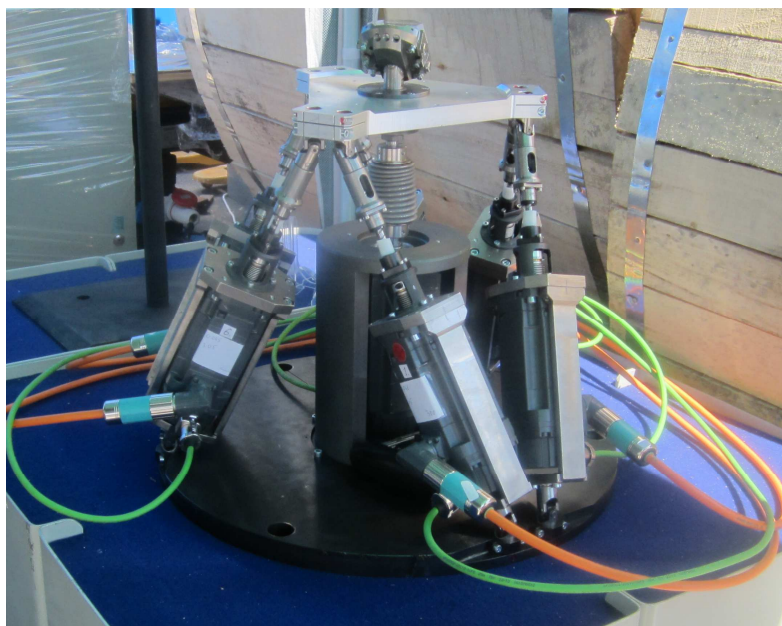


Рис.1. Манипулятор оптического коммутатора, экспонирующийся на выставке

Представленный коммутатор является встраиваемым решением, адаптируемым под конкретное применение с помощью коррективов управляющей программы и быстрой сменой рабочего органа (призмы).

#### **Цель исследования**

Целью является проверка работоспособности алгоритма автоюстировки оптического коммутатора.

#### **Материал и методы исследования**

В качестве юстировочного излучателя в стенде использовался полупроводниковый лазер ЛМ-650-20DA2 производства ЗАО «Кантегир», с длиной волны 655 нм и мощностью 20 мВт. Разъюстировки излучателя имитировались при помощи двух оптических клиньев, расположенных на его оси.

Определение разъюстировки лазерных излучателей велось с помощью отвода части лазерного пучка на полупрозрачный диффузный экран и регистрации световых пятен скоростной камерой Fastvideo – 500 производства НПО «Астек».

Отвод осуществлялся плоскопараллельными светоделительными пластинами из кварцевого стекла КУ ГОСТ 15130-86 с просветлением неотводящей поверхности на длину волны для минимизации вторичного пятна.

Отражение лазерных пучков в системе производилось зеркалами с покрытием по ОСТ 3-1901-85 (медь на стеклянной подложке) с коэффициентами отражения более 95 % для длины волны  $\lambda = 0,65$  мкм.

Видеоанализ, расчет разъюстировок, формирование управляющих воздействий и коммуникационные функции осуществлялись специально разработанным ПО, предназначенным для управления оптическим коммутатором [3].

Приводная группа оптического коммутатора построена на базе цифровых частотных приводов Siemens Sinamics S120 с двигателями Siemens 1FK7. Управление приводной группой осуществлялось контроллером перемещения Siemens Simotion D435-2 DP/PN.

Фиксация световых пятен на экране (миллиметровая бумага) производилась видеокамерой Beward BD4330.

Схема проведенного эксперимента представлена на рис. 2.

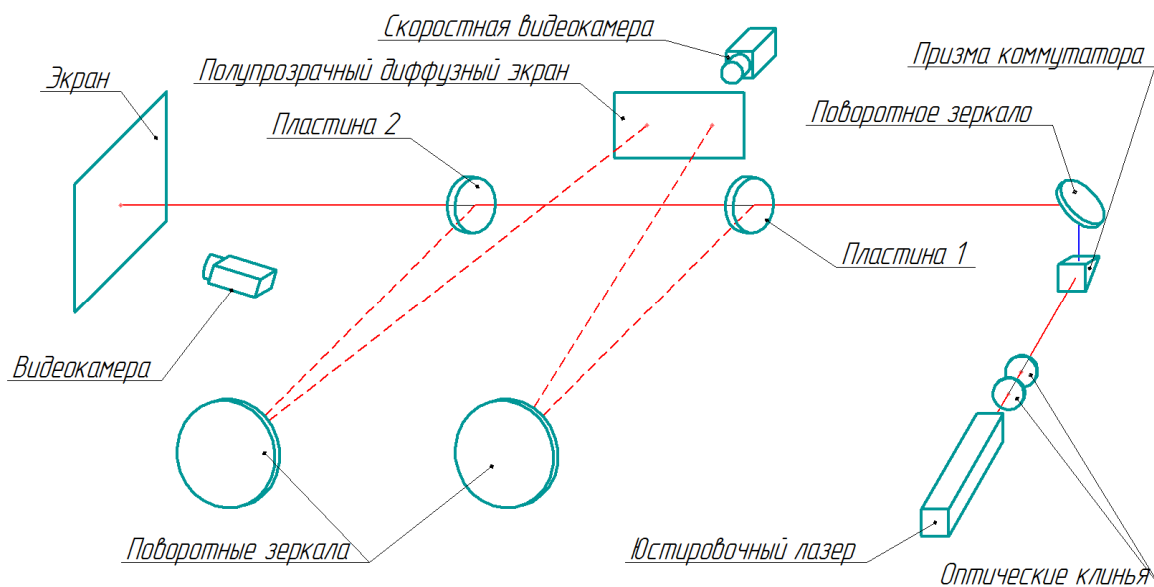


Рис. 2. Схема эксперимента

Испытания проходили в несколько этапов, каждый из которых включал в себя отдельные операции.

1. Первый этап:

- имитация разъюстировки излучателя ручным позиционированием оптических клиньев.

2. Второй этап (операции проходили одновременно в автоматическом режиме):

- опрос юстировочного лазера коммутатором в режиме отключенной автоъюстировки;  
- фиксация световых пятен на диффузном экране скоростной камерой для расчета разъюстировок;

- фиксация световых пятен видеокамерой для визуального контроля;

3. Третий этап:

- программный анализ видеозаписи скоростной камеры для определения позиции световых пятен и разъюстировок;

- программный расчет координат призмы коммутатора, необходимых для компенсации разъюстировки излучателя, и загрузка их в контроллер коммутатора.

#### 4. Четвертый этап:

- опрос юстировочного излучателя коммутатором в режиме включенной автоюстировки;

- фиксация световых пятен видеокамерой на экране для визуального контроля.

Испытания проводились 9 раз для различных сочетаний вертикальной и горизонтальной разъюстировки. В целом, луч первого излучателя находился в пределах  $\pm 5$  угловых минут по обеим плоскостям. Расстояние от первого лазерного излучателя до экрана составило 6990 мм.

Для визуального контроля автоюстировки после каждого испытания проводилось извлечение кадров со световыми пятнами на экране из видеозаписей камеры Beward BD4330.

#### **Результаты исследования**

В ходе 9 испытаний, прошедших на базе испытательного стенда, были установлены различные положения оптических клиньев. Первый опыт проводился без смещения клиньев. Со второго по девятый опыт излучатель разъюстировывался таким образом, чтобы световые пятна заняли различные положения (приблизительно на окружности диаметром 10 мм с центром в середине экрана).

На втором этапе каждого испытания скоростная видеокамера формировала видеозаписи, содержащие кадры со световыми пятнами, во время опроса коммутатором юстировочного лазера. Данные видеозаписи сохранялись в файлах .flab, представляющих собой собственный формат видеозаписи для камер Fastvideo.

На третьем этапе испытаний сохраненные файлы .flab подвергались видеоанализу с помощью ПО коммутатора. В автоматическом режиме был произведен поиск кадров, содержащих световые пятна, выделена их позиция, получены данные о разъюстировках излучателя в горизонтальной и вертикальной плоскостях и рассчитаны необходимые поправки позиции призмы коммутатора.

Полученные данные о разъюстировках излучателя приведены в таблице 1.

Разъюстировки юстировочного излучателя

№ опыта	Разъюстировки, рад	
	Горизонтальная	Вертикальная
1	-0,00010685	-0,00012726
2	0,00120929	-0,00016622
3	0,00095655	0,00096422
4	0,00001517	0,00098969
5	-0,00081684	0,00064672
6	-0,00110519	0,00009385
7	-0,00102913	-0,00114386
8	-0,00001595	-0,00103422
9	0,00089013	-0,00083321

На основе данных из таблицы 1 был составлен график динамики симитированных разъюстировок на протяжении девяти опытов. График представлен на рис. 3.

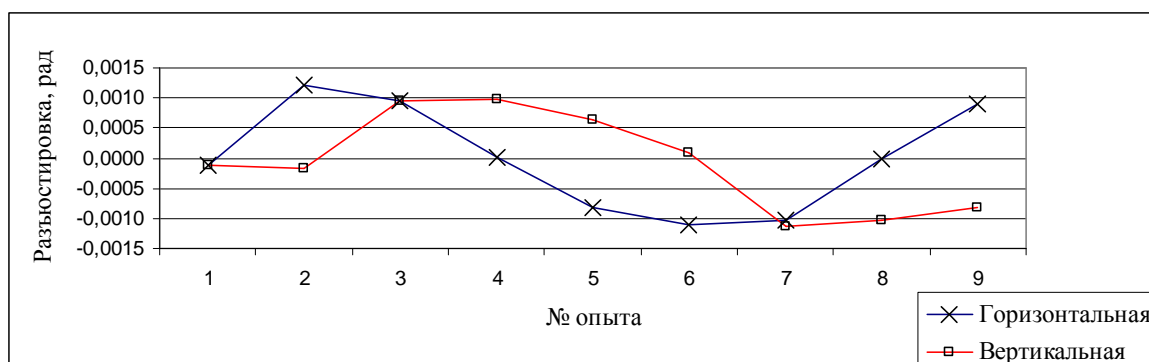


Рис. 3. Симитированные разъюстировки лазерного излучателя

На четвертом этапе испытаний лазерный излучатель опрашивался коммутатором при включенном режиме автоюстировки. Лазерные пятна на экране фиксировались видеокамерой, а их позиции, в дальнейшем, были получены при извлечении кадров из видеозаписи.

Разъюстировки оси лазерного излучателя при включенном режиме автоюстировки приведены на рис. 4.

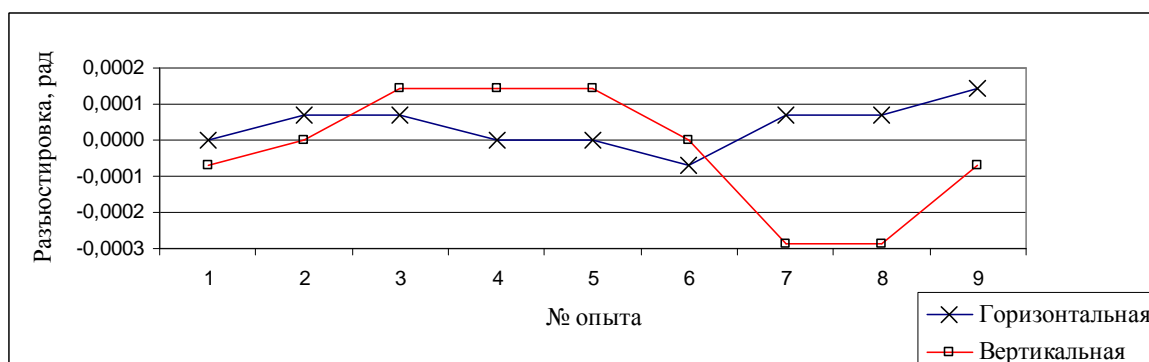


Рис. 4. Разъюстировки излучателя при включенном режиме автоюстировки

Из графика на рис. 4 следует, что разъюстировка излучателя снизилась в 4–10 раз в зависимости от конкретного опыта.

Примеры видеок кадров, извлеченных из различных записей видеокамеры Beward BD4330, иллюстрирующие световые пятна на экране в разных режимах коммутатора, представлены на рис. 5.

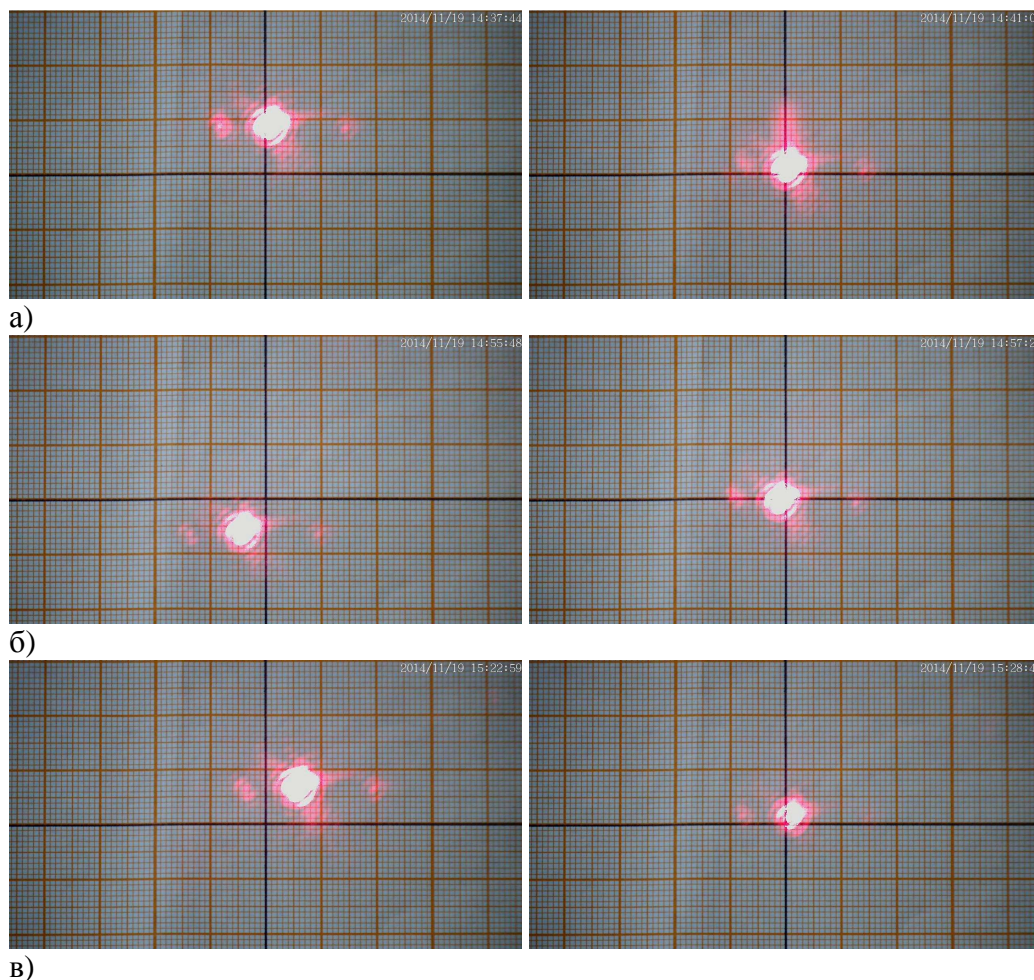


Рис. 5. Световые пятна на экране при выключенной (слева) и включенной (справа) автоюстировке: а – второй опыт; б – пятый опыт; в – восьмой опыт.

На видеок кадрах рис. 5 видно, что в режиме автоюстировки оптический коммутатор сводит лазерный пучок с точностью до 1 мм на плече 6990 мм (расстояние от лазерного излучателя до экрана). Данные цифры соответствуют точностям угловой юстировки  $1,5 \cdot 10^{-4}$  рад.

## Выводы

1. Алгоритм автоюстировки оптического коммутатора на базе привода с параллельной кинематикой показал свою работоспособность и позволил достичь точности угловой юстировки до  $1,5 \cdot 10^{-4}$  рад.

2. В процессе функционирования оптического коммутатора следует уделять особое внимание состоянию механики манипулятора, поскольку работа приводов идет в ударном режиме. В данном эксперименте было выявлено наличие небольших линейных люфтов карданных подвесов штанг гексапода, что отрицательно сказалось на общей точности юстировки. Данный недостаток устраняется при применении карданных подвесов с увеличенными диаметрами осей.

### Список литературы

1. Глазунов В.А. Принципы классификации и методы анализа пространственных механизмов с параллельной структурой // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1990. – № 1. – С. 41-49.
2. Кобзев А.А., Потанин Ю.С. Привод перспективного оптического коммутатора многоканальных лазерных систем // Информационно-измерительные и управляющие системы военной техники: материалы III всероссийской научно-технической конференции, Владимир, 14-16 ноября 2013 г. – М., 2012. – С. 99-101.
3. Кобзев А.А., Потанин Ю.С. Формирование главной обратной связи в системе автоюстировки на базе оптического коммутатора для многоканальных лазерных комплексов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9 (2). – С. 262-266; URL: [www.rae.ru/fs/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=10004104](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10004104) (дата обращения: 24.11.2014).
4. Потанин Ю.С. Математический алгоритм работы оптического коммутатора многоканальных лазерных систем // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3; URL: [www.science-education.ru/117-13641](http://www.science-education.ru/117-13641) (дата обращения: 24.11.2014).
5. Потанин Ю. С., Кобзев А. А. Перспективный модуль коммутации оптического излучения на базе гексапода // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, Могилев, 30-31 октября 2012 г. – М., 2012. – С. 162.

### Рецензенты:

Гоц А.Н., д.т.н., профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок Владимирского государственного университета, г. Владимир;

Егоров И.Н., д.т.н., профессор, член-корреспондент РАИН, директор «Центра образования инвалидов» Владимирского государственного университета, г. Владимир.