

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАМИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЮСТИРОВКИ МОЩНОЙ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ

*Е. Д. Галкин, В. Е. Гаганов, А. В. Андраманов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Представлены результаты разработки программы в операционной системе (ОС) Astra Linux для управления элементами системы автоматической юстировки (САЮ) силового усилителя многоканального неодимового лазера. Программа позволяет управлять шаговыми двигателями, лазерными маркерами через драйвер – блок ввода вывода универсальный и получать изображение с ПЗС-камер. Работа проводилась на полномасштабном стенде, макетирующем силовой усилитель мощной лазерной установки нового поколения. С помощью этой программы можно проводить автоматизированную/ручную юстировку оптических элементов стенда, а также осуществлять тестирование штатных элементов установки.

## Введение

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИЭФ идет работа по созданию лазерной установки нового поколения, позволяющей в лазерных мишенях достичь условий термоядерного горения. Одной из составных частей установки является система автоматической юстировки. САЮ предназначена для управления положением и ориентацией в пространстве оптических элементов многоканальной лазерной установки на пути от задающего генератора до мишени, как в автоматическом, так и автоматизированном (по команде персонала) режимах.

Необходимость разработки системы автоматической юстировки для установки определяется как большим количеством (более трех тысяч) оптических элементов, требующих подстройки в каждом опыте, так и конструктивными особенностями их компоновки в канале главного усилителя. Большая часть этих элементов находится в труднодоступных местах; время настройки ограничено дрейфом элементов и количеством персонала настройщиков.

Испытательный стенд САЮ смонтирован в лазерном зале установки «Искра-5» [1]. Стенд включает в себя торцевое зеркало, кюветный пространственный фильтр (КПФ) и транспортный пространственный фильтр (ТПФ), реверсор, блок юстировочного лазера и датчик силового усилителя. В настоящее время почти все элементы стенда являются штатными, за исключением реверсора: зеркала излома на реверсор, линзы реверсора и торцевого зеркала реверсора.

Автоматическая юстировка стенда основана на применении системы маркеров на основе лазерных диодов. Маркерами снабжены торцевое зеркало, зеркало реверсора и диафрагменные узлы пространственных фильтров. Центр каждого оптического элемента при этом задается серединой отрезка между световыми маркерами. Изображения маркеров перестраиваются на матрицы цифровых камер, с помощью которых осуществляется контроль взаимного положения центров оптических элементов. Моторизованные оправы оптических элементов и диафрагменные узлы оснащены приводами с шаговыми двигателями.

На создаваемой лазерной установке планируется использовать ОС Astra Linux [2], в связи с чем возникает необходимость разработки программного обеспечения (ПО) для данной ОС.

В ходе выполнения данной работы было разработано ПО, которое дает оператору возможность управлять элементами стенда для юстировки силового усилителя и вращением диафрагменных узлов. С помощью этой программы можно производить автоматизированную (ручную) юстировку в ОС специального назначения Astra Linux и тестировать различные элементы стенда на пригодность для применения в качестве штатных элементов САЮ.

## Структурная схема управления САЮ

На рис. 1 приведена предполагаемая структурная схема управления САЮ. Верхний уровень образуют сервер САЮ и местный пульт управления – МПУ САЮ. Они объединены локальной сетью Ethernet со скоростью обмена не ниже 100 Мбит/с. Сюда же могут входить дополнительные рабочие места – МПУ, а также точки доступа для мобильных пультов управления. Взаимодействие с центральным пультом управления (ЦПУ) осуществляется через сервер САЮ. Средний уровень САЮ составляют управляющие компьютеры (УК). В одном варианте для системы юстировки может использоваться 48 УК. При этом один УК производит юстировку четырех каналов силового усилителя и системы транспортировки. В другом варианте для юстировки каждого из 192 каналов установки может применяться УК, встроенный в блок ввода-вывода универсальный (БВВУ), т. е. всего 192 УК.

Связь УК с МПУ осуществляется по распределенной сети со скоростью передачи не менее

100 Мбит/с. Сеть строится на основе Ethernet коммутаторов с оптоволоконным интерфейсом.

Нижний уровень САЮ представляет собой распределенную сеть контроллеров исполнительных механизмов, маркеров и видеокамер.

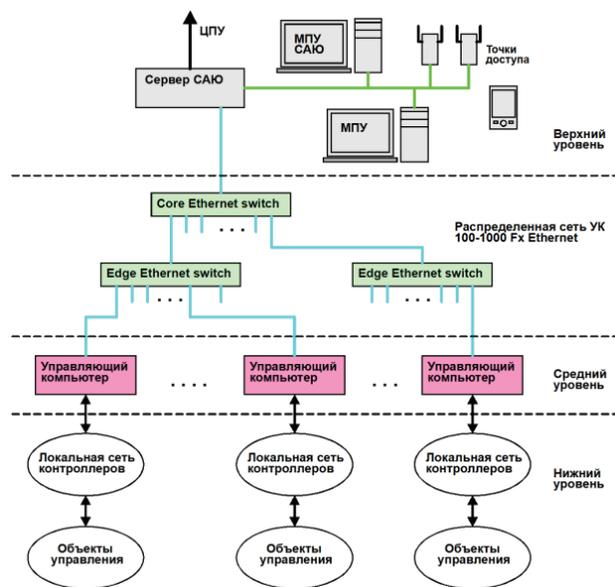


Рис. 1. Структурная схема управления САЮ

### Составные элементы стенда САЮ силового усилителя

В настоящее время на стенде САЮ для управления шаговыми двигателями и лазерными маркерами используется БВВУ производства МГУ (Москва), представленный на рис. 2.

В каждый БВВУ могут устанавливаться три вида модулей, предназначенных для автоматического управления различными подсистемами, которые могут включать в себя:

- электромоторы различных типов (шаговые двигатели, двигатели постоянного тока);
- лазерные маркеры;
- другие системы требующие управления (камеры, клапаны и пр.).



Рис. 2. Внешний вид БВВУ спереди и сзади

На стенде применяется система маркеров на основе лазерных диодов. Для примера на рис. 3 показан внешний вид лазерного диода QLD-1060-200S. Длина волны излучения составляет 1060 нм, что очень близко к рабочей длине волны создаваемой лазерной установки. Максимальная мощность составляет 200 мВт.



Рис. 3. Внешний вид лазерного диода

Оптические пути распространения излучения от разных маркеров до матрицы цифровой камеры очень сильно различаются. На рис. 4 приведены расстояния от матрицы цифровой камеры до пар маркеров, которые используются во время юстировки оптической схемы усилительного канала. Изображение маркеров КПФ3 попадает на электронную камеру после отражения от зеркала торцевого (ЗТ). Изображение маркеров ТПФ2 попадает на электронную камеру после отражения от зеркала реверсора, а затем от ЗТ. Изображение маркеров ТПФ1 попадает на электронную камеру после прохождения четырех проходов по оптическому тракту усилительного канала, то есть лучи от маркеров ТПФ1 два раза отражаются от ЗТ и один раз от зеркала реверсора [1].

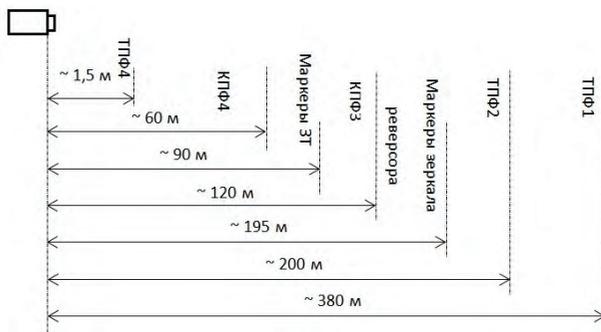


Рис. 4. Расстояния от электронной камеры ДСУ до маркеров

Яркость в изображениях маркеров в паре, может различаться из-за разброса световых характеристик, диаграммы направленности и точности монтажа. В разных режимах юстировки одни и те же маркеры могут светить непосредственно в датчик силового усилителя (ДСУ) или после проходов по тракту – например, если заводящее зеркало ДСУ вбрасывается не в ТПФ4, а в ТПФ2.

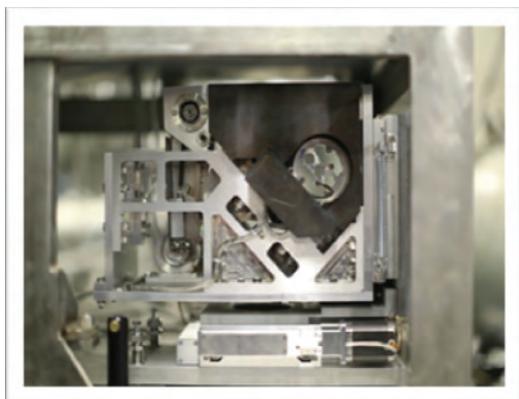
Маркеры подключены к модулям Urlaser драйвера БВВУ. Каждый модуль имеет по 4 разъема типа

RJ-45, на каждый разъем подключается до 2-х лазерных диодов. Каждый модуль позволяет независимо задавать ток от 0 до 250мА любому из 8-ми лазерных маркеров, что необходимо для выравнивания интенсивности свечения разных маркеров на изображении с камер.

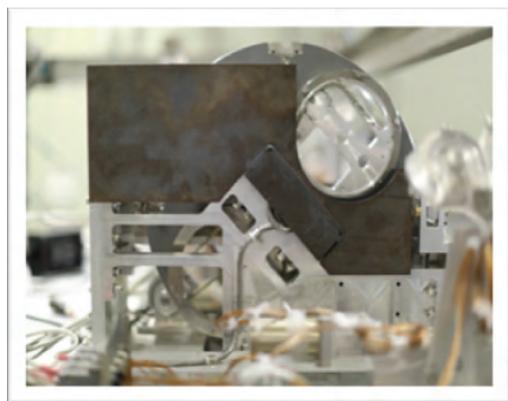
Все оправы зеркал и диафрагменные узлы, установленные на стенде, оснащены шаговыми двигателями. Они подключены к модулям Utrac драйверов БВВУ.

На рис. 5 приведен внешний вид ДСУ, оснащенного двумя камерами VAC-248-IP. Эти камеры производятся ООО "ЭВС" г. С-Петербург. Камера построена на высокочувствительной матрице КМОП высокого разрешения фирмы ON Semiconductor серии "VITA-2000" [3]. Размер изображения 1920×1200 пикселей. Датчик в камере может работать как в полнокадровом режиме, так и в режиме скользящего электронного затвора. Камера передает изображение без сжатия по сети 100мбит и может управляться от компьютера.

В общем фокусе линз, образующих пространственные фильтры находятся узлы диафрагменные (УД). На рис. 5 представлен внешний вид УД КПФ и УД ТПФ, производства НИИОЭП г. Сосновый Бор.



а



б

Рис. 5. Внешний вид: а – УД КПФ; б – УД ТПФ

На диске размещены две кассеты с рабочими диафрагмами [4]. Для уравнивания диска они располагаются в диаметрально противоположных окнах. Третье окно в диске занято кассетой с внеосевыми маркерами, а в свободное четвертое окно установлен кольцевой противовес. Диск приводится во вращение шаговым мотором посредством ременной зубчатой передачи. Для фиксации диска в четырех положениях, на образующей диска между окон для кассет расположены четыре гнезда для стопорного механизма, который так же приводится в движение шаговым мотором.

### Описание работы программы

В рамках поставленной задачи была разработана программа в ОС Astra Linux для тестирования штатных элементов САЮ силового усилителя. При разработке использовалась среда программирования QT Creator [5], программный код реализован на языке C++ [6].

Основное окно программы в соответствии с рис. 6 содержит визуальные элементы, обозначенные выносками.

Функциональное назначение визуальных элементов основного окна:

1) элементы управления камерой:

– кнопка «Start» – открывает камеру с заданным IP адресом и портом. Запускает получение изображений с камеры;

– кнопка «Stop» – останавливает прием изображений с камеры;

– кнопка «Screen» – делает снимок с камеры.

При нажатии вызывается диалоговое окно сохранения. Файл сохраняется в формате «.bmp» с разрешением 1920×1200;

2) область вывода потока изображений с камеры;

3) слайдеры управления экспозицией и усилением; – с помощью слайдера управления экспозицией пользователь может задавать фиксированные значения для экспозиции. Допустимый диапазон значений для экспозиции от 1 до 190 мс, включительно;

– слайдер усиления позволяет задавать величину для аналогового усиления. Допустимый диапазон значений от 1 до 4, что соответствует усилению в 1, 2, 4, 8 раз;

4) элементы управления параметрами движения двигателей. Пользователь задает количество шагов, на которое необходимо переместиться шаговому двигателю и значение скорости в шагах за секунду;

5) панель состояния шагового двигателя. Отображается значение тока в обмотках шагового двигателя в микроамперах. Рядом с каждым из индикаторов тока, находятся кнопки немедленного отключения тока двигателя вне зависимости от его состояния;



Рис. 6. Главное окно программы: 1 – элементы управления камерой; 2 – область вывода потока изображений с камеры; 3 – слайдеры управления экспозицией и усилением; 4 – элементы управления параметрами движения двигателей; 5 – панель состояния шагового двигателя; 6 – блок активации шаговых двигателей; 7 – клавиши запуска движения шаговых двигателей; 8 – панель управления лазерными маркерами; 9 – панель управления диафрагменными узлами ТПФ и КПФ

6) блок активации шаговых двигателей. Осуществляется открытие и закрытие устройства в модуле ШД БВВУ;

7) клавиши запуска движения шаговых двигателей в нужном направлении и остановки;

8) панель управления лазерными маркерами. Для активации модуля управления ЛД предназначена кнопка «LD ON». Для отмена активации – кнопка «LD OFF». Пользователь может отдельно включить или выключить лазерные диоды ДЗ и БЗ. Также есть кнопки для включения/выключения всех маркеров вместе;

9) панель управления диафрагменными узлами ТПФ и КПФ. Для выбора нужного узла активируется соответствующая закладка. Перемещение диска с кассетами осуществляется четырьмя кнопками, соответствующими четырем позициям ротора.

### Тестирование программы

Разработанная программа тестировалась при юстировке элементов САЮ силового усилителя. Через модули управления ЛД и ШД в БВВУ подавался ток на лазерные маркеры и осуществлялось вращение требуемых моторов. Разработанная программа доказала свою полезность, при помощи нее были выявлены недостатки в работе БВВУ. При работе с блоком, происходили неоднократные разрывы сетевых соединений, что вызывало в программе индикацию сообщений об ошибках, а также некото-

рые модули управления шаговыми двигателями приводили к повреждениям обмоток моторов. В связи с этим блок был отправлен на доработку производителю, и проблемы были устранены.

По результатам использования программы сделано заключение о соответствии УД ТПФ и КПФ техническому заданию, диск точно встает в одно из рабочих положений и фиксируется стопором. Управление лазерными маркерами и шаговыми двигателями этих узлов от БВВУ происходит без нареканий.

Видеотрансляция с камер Vac-248-IP осуществлялась без нареканий. Изображения, сохраненные в файлы, при помощи кнопок получения отдельных кадров (скриншотов), в дальнейшем обрабатывались и анализировались. Можно сделать вывод, как и о корректной работе программы с камерами, так и о пригодности самих видеокамер VAC 248-IP.

### Заключение

В результате выполнения данной работы была описана общая структура ПО САЮ многоканальной лазерной установки, включающая верхний, средний и нижний уровни; разработана программа, позволяющая пользователю осуществлять автоматизированную (ручную) юстировку элементов стенда силового усилителя; программа протестирована на стенде САЮ с использованием штатных элементов. Программа продемонстрировала корректную работу и оказалась полезна при юстировке.

Дальнейшее развитие разработанного нами ПО предусматривает добавление элементов системы заведения излучения задающего генератора, второго ДСУ, транспортной системы.

### Литература

1. Гаганов В. Е., Глушков М. С., Соломатин И. И. Разработка маркерной сети на основе лазерных диодов для системы автоматической юстировки неодимового лазера // III конференция молодых ученых и специалистов «Будущее оптики», Сборник трудов, Санкт-Петербург, 2015.

2. Ключевые особенности Astra Linux Special Edition по реализации требований безопасности информации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://astra-linux.com/klyuchevye-osobennosti.html>.

3. Черно-белая телевизионная камера высокого разрешения VAC-248-IP. Технический паспорт. ООО "ЭВС" г. Санкт-Петербург.

4. Руководство по эксплуатации узлов диафрагменных КДФ и ТДФ. НИИ ОЭП, г. Сосновый Бор.

5. Qt Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://doc.qt.io/qt-5/QImage.html>.

6. Макс Шлее. Qt 5.3. Профессиональное программирование на C++. : Издательство «БХВ-Петербург», 2015.