

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОНФИГУРАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ

В.В. Плихунов, А.В. Коваленко, И.С. Шлесберг, О.М. Орешкин (ОАО "НИАТ")

Рассмотрен вопрос автоматизации управления ТП лазерно-плазменной обработки поверхности. Проведен сравнительный анализ базовых функциональных моделей систем управления технологическим оборудованием. Определены основные компоненты технологического оборудования, реализующего процесс лазерно-плазменной обработки поверхности, и выбраны средства аппаратного и программного обеспечения для автоматизации управления рассматриваемым процессом.

Ключевые слова: ЧПУ, система управления, лазер, сканатор, лазерно-плазменная обработка.

Возрастающие требования к износостойкости нагруженных и ответственных деталей и узлов машин заставляют уделять особое внимание их поверхностной обработке. Перспективным направлением развития данной группы ТП является лазерно-плазменная обработка (ЛПО). Использование лазерных технологий позволяет в значительной степени автоматизировать и ускорить выполнение обработки сложных поверхностей металлических деталей.

Основа процесса ЛПО – воздействие лазерного излучения на обрабатываемую деталь. С помощью лазерного луча над обрабатываемой поверхностью в парах металла поджигают и поддерживают в непрерывном оптическом разряде приповерхностную лазерную плазму с возможностью перемещения ее энергетического центра [1]. Задача управления геометрическими параметрами лазерного луча состоит из управления его перемещением в пространстве и смещением фокуса луча относительно обрабатываемой поверхности для эффективного поджига плазмы. Позиционирование точки фокуса луча в зоне обработки осуществляется с помощью специального оптического прибора – сканатора [2].

Система управления установкой для лазерно-плазменной обработки (УЛПО) имеет два управляющих контура (рис. 1): один осуществляет взаимное позиционирование обрабатываемой детали и лазерного луча, другой задает параметры последнего. Наличие двух независимых контуров поднимает проблему их синхронизации, перспективным решением которой является использование единой системы управления, осуществляющей одновременную интерполяцию всех используемых осей. В дальнейшем, под геометрической осью будет пониматься параметр, значение которого соответствует положению определенного исполнительного органа и является его управляющей величиной, а под физической осью – параметр технологического воздействия на обрабатываемую деталь с помощью некоторого физического процесса, в данном случае – параметр контура управления лазерным лучом, соответствующий энергетическому или геометрическому параметру луча [3].

Неотъемлемой частью единой системы управления является геометрический ISO-процессор [4], осуществляющий одновременную интерполяцию осей обоих управляющих контуров. Написание управляющей программы в этом случае основано на стандартизированном языке программирования ISO-7bit, расширенном дополнительными функциями.

В основе единой системы управления лежит система ЧПУ, реализующая геометрическую, логическую и терминальную задачи [5]. В процессе выполнения управляющей программы ядро системы ЧПУ формирует сигналы для блока управления электродвигателями (геометрические оси) и для блока управления источником лазерного излучения и сканатором (физические оси). Исполнений данной архитектуры системы управления может быть несколько в зависимости от степени интеграции в нее коммерческих программных и аппаратных решений.

### Система управления УЛПО на базе ПК

Аппаратной основой системы управления в данном случае служит ПК в промышленном исполнении. Такое исполнение предусматривает разработку

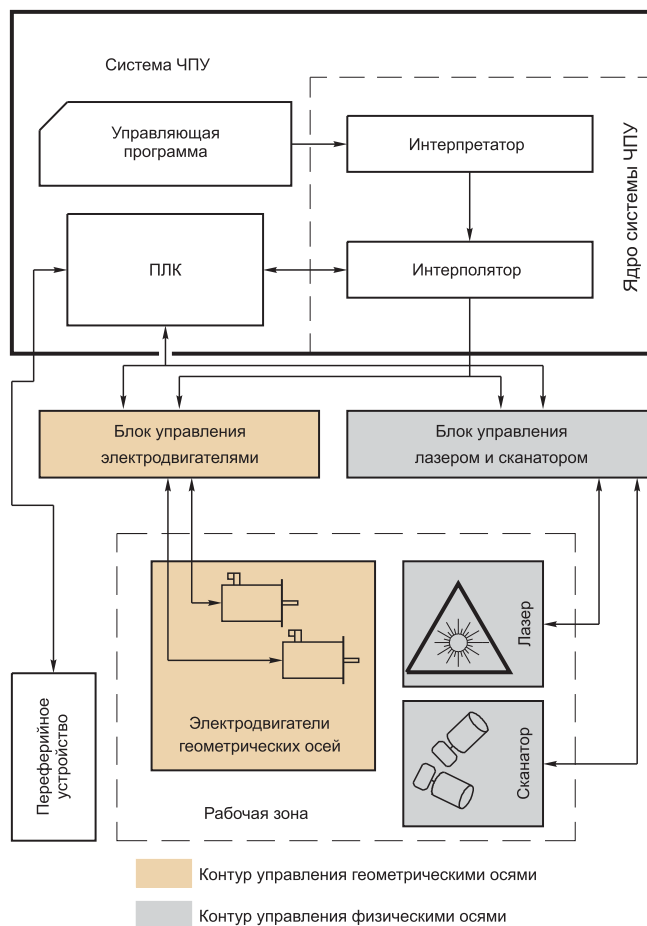


Рис. 1. Функциональная схема системы управления УЛПО

ядра системы ЧПУ – комплекса ПО, осуществляющего интерпретацию управляющих программ, а также реализующего геометрическую задачу управления [5]. Для обеспечения корректной работы ядра на ПК должна быть установлена ОС РВ [6, 7] (например, семейства UNIX или Microsoft Windows семейства NT с расширителем РВ).

Помимо геометрической система управления должна также решать логическую задачу управления [5], выполнение которой возложено на ПЛК. Последний может быть выполнен в виде отдельной платы, однако высокая производительность процессоров, используемых в современных системах ЧПУ, позволяет реализовать виртуальный ПЛК [8].

Для управления электродвигателями существуют стандартные, серийно выпускаемые решения. В то же время для управления параметрами лазерного луча потребуется разработка специализированного модуля – модуля управления лазерным лучом.

Достоинства описанного исполнения заключаются в сравнительно невысокой стоимости используемого оборудования и возможности для разработчика реализовать требуемую функциональность. Такая гибкость при разработке открывает обширные возможности модернизации установки. Для данного исполнения системы управления характерна относительная свобода в выборе коммуникационных интерфейсов между блоками управления, что позволяет сократить время на разработку плат согласования и протокола обмена данными между ПК и блоками управления. К недостаткам исполнения можно отнести его трудоемкую реализацию, поскольку разработчик в данном случае вынужден самостоятельно создавать практически все требуемое ПО, включая интерпретатор управляющих программ, математический аппарат управления перемещениями, человеко-машинный интерфейс, а также ПЛК. Выбор такой системы управления целесообразен при проектировании мелкосерийного или специализированного технологического оборудования.

Вариантов реализации системы управления УЛПО собственной разработки может быть много. Они могут различаться выбором ОС, аппаратной или программной реализацией ПЛК, способом решения терминальной задачи и т. п. Конкретная конфигурация зависит от материальных и временных ресурсов, а также накопленного опыта в проектировании систем управления на предприятии-разработчике.

#### **Система управления УЛПО на базе коммерческой системы ЧПУ**

Основной задачей при разработке данного исполнения системы управления является создание модуля управления лазерным лучом. По характеру связи такого модуля с базовой системой ЧПУ можно выделить программную, аппаратную и программно-аппаратную конфигурацию данного исполнения.

Основное достоинство исполнения с использованием коммерческой системы ЧПУ – наличие в ней гото-

вого геометрического ISO-процессора, сочетающегося с отлаженным аппаратом управления перемещениями и ПЛК. Также использование коммерческой системы ЧПУ обычно снижает временные и материальные затраты на разработку и подбор электродвигателей и модулей управления к ним, поскольку большинство производителей систем ЧПУ предоставляет набор апробированных решений. Недостатком является высокая стоимость установки по сравнению с предыдущим исполнением. Определенные трудности могут возникнуть при расширении функциональности системы управления, что обусловлено отсутствием механизма прямого воздействия на параметры ЛПО.

Ниже описаны три основных конфигурации исполнения с использованием коммерческой системы ЧПУ, различающиеся по типу связи системы ЧПУ с модулем управления лазерным лучом.

#### **Программная конфигурация: применение открытой системы ЧПУ типа PCNC [5]**

Данная конфигурация предусматривает создание системы управления на базе коммерческой системы ЧПУ с открытой архитектурой ядра, позволяющей внедрить в нее дополнительный программный модуль, реализующий управление геометрическими и энергетическими параметрами лазерного луча (рис. 2а).

Подавляющее большинство систем ЧПУ типа PCNC работают под управлением ОС, получивших широкое распространение для ПК (Microsoft Windows, UNIX) и имеющих собственные среды разработки (например, Microsoft Visual Studio для Windows), что облегчает написание не только программного модуля, но также прочих программных компонентов и библиотек, расширяющих функциональность системы ЧПУ.

Основным недостатком такого решения является его повышенная стоимость, поскольку помимо покупки самой системы ЧПУ возникает необходимость приобретения открытой архитектуры ее ядра, часто являющейся опцией. В отдельных случаях могут возникнуть дополнительные сложности, связанные с запретом ряда западных производителей на поставку данной опции отечественным предприятиям.

#### **Аппаратная конфигурация: маскировка модуля управления лазерным лучом под штатный модуль управления электродвигателем**

В данном случае коммерческая система ЧПУ используется без коррекции на программном или аппаратном уровне. Поэтому основной задачей при разработке канала согласования с модулем управления лазерным лучом является обеспечение коммуникации модуля с базовой системой ЧПУ, в частности, реализация обратных связей [9] (рис. 2б). Коммуникационный интерфейс необходимо разработать таким образом, чтобы система ЧПУ "воспринимала" модуль управления лазерным лучом как еще один дополнительный модуль управления электродвигателем.

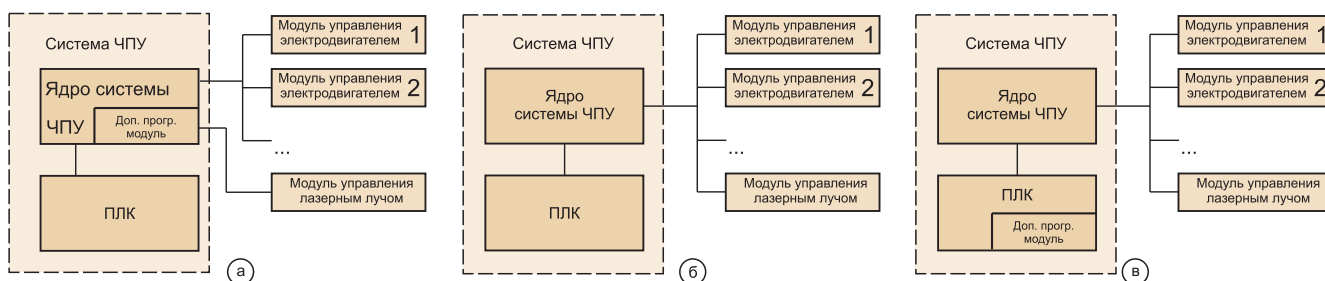


Рис. 2. Различные конфигурации исполнения системы управления УЛПО на базе коммерческой системы ЧПУ

Данная конфигурация системы управления выгодно отличается от предыдущей тем, что не требует дополнения алгоритма работы ядра – достаточно разработки аппаратно независимого модуля управления лазерным лучом. При выборе комплектации системы ЧПУ нет необходимости учитывать наличие дополнительных слотов для плат согласования или наличие опции открытой архитектуры ядра, что расширяет ассортимент доступных для выбора систем ЧПУ.

**Программно-аппаратная конфигурация: коммуникация системы ЧПУ и модуля управления лазерным лучом через ПЛК**

Данная конфигурация во многом схожа с предыдущей, так как она не требует разработки дополнительных программных модулей для ядра системы ЧПУ. При этом, в отличие от предыдущей конфигурации отсутствует необходимость доступа к коммуникационному интерфейсу между системой ЧПУ и модулями управления электродвигателями, поскольку обмен данными между системой ЧПУ и модулем управления лазерным лучом осуществляется через ПЛК.

Часть функций модуля управления лазерным лучом по организации и преобразованию управляющего сигнала выполняет ПЛК, который может как ретранслировать управляющий сигнал, так и самостоятельно формировать его. Аппаратная доработка системы управления заключается в разработке платы согласования модуля с ПЛК по одному из доступных для ПЛК протоколов связи (рис. 2, в).

Основным преимуществом этой конфигурации является то, что разработчику не нужен доступ к потенциально закрытым частям системы ЧПУ. К недостаткам относится сложность структуры модуля управления лазерным лучом, который включает плату согласования, собственно сам модуль управления, а также дополнительные программные модули для ПЛК.

Каждая из приведенных конфигураций системы управления обладает своим набором преимуществ и недостатков. Сравнительная характеристика исполнений и их реализаций по ключевым параметрам представлена в таблице. Выбор конкретного пути реализации системы управления во многом зависит от возможностей предприятия-разработчика, а также сложившихся на нем традиций станкостроения.

Отметим несколько специальных требований к системе управления УЛПО. Архитектурой системы должно быть предусмотрено наращивание функциональных возможностей путем добавления программных и аппаратных модулей, реализующих опции, востребованные в установке. Примерами таких опций являются: автоматическое определение контура газовой защиты в зависимости от местоположения лазерного луча в зоне обработки, реализация обратной связи по качеству выполнения ЛПО. Большинство представленных на рынке систем ЧПУ ведущих мировых производителей не предоставляют такие возможности. Архитектурой данных систем не предусмотрено наличие контуров управления физическими осями в силу их ориентации на механообработку. При выборе конкретной конфигурации следует обратить внимание на наличие у системы ЧПУ необходимых типов слотов для установки плат согласования (например,

Таблица. Сравнительная характеристика конфигураций системы управления УЛПО

№	Базовая система ЧПУ	Модули управления электродвигателями	Модуль управления лазерным лучом	Коммуникационные интерфейсы	
				для модулей управления электродвигателями	для модуля управления лазерным лучом
1.	Собственная разработка	Коммерческая или собственная разработка	Собственная разработка	Собственная разработка	Собственная разработка
2а.	Коммерческая система ЧПУ с открытой архитектурой ядра	Штатные	Собственная разработка с адаптацией ядра ЧПУ под управление модулем	Коммуникационный интерфейс системы ЧПУ	Собственная разработка
2б.	Коммерческая система ЧПУ		Собственная разработка с эмуляцией модуля управления лазерным лучом под штатный модуль управления электродвигателем	Коммуникационный интерфейс системы ЧПУ	
2в.	Коммерческая система ЧПУ		Собственная разработка или штатные с разработкой платы согласования с ПЛК системы ЧПУ		

PCI-слотов) или разъемов для подключения внешних вычислительных устройств (например, портов USB).

По результатам сравнения данных из таблицы отметим, что по экономической эффективности разработки, то есть минимизации трудовых и денежных затрат для получения готового продукта, наиболее перспективной является конфигурация (в) второго исполнения архитектуры системы управления. Это исполнение менее трудоемко в реализации (не требуется разрабатывать ядро системы ЧПУ), чем первое. Также выбранная конфигурация не требует доступа к открытой архитектуре ядра системы ЧПУ и открытого протокола коммуникации с модулями управления электродвигателями для добавления новых функциональных элементов в систему управления, являющихся основными недостатками конфигураций (а) и (б).

Такая конфигурация системы управления предложена для реализации на проектируемой в настоящее время УЛПО.

#### Технические характеристики источника лазерного излучения

Тип лазера .....	итербиевый волоконный
Режимы работы .....	непрерывный, модулированный
Нестабильность выходной мощности, % .....	±3
Поле обработки сканатора, мм .....	300x300
<b>Технические характеристики линейных геометрических осей</b>	
Число, ед. ....	3
Величина хода, (XxYxZ), мм .....	600x320x320
Максимальная подача, мм/мин .....	20000
Точность позиционирования, мкм .....	6
<b>Технические характеристики круговых геометрических осей</b>	
Число, ед. ....	2
Величина хода, (BxC), град .....	180x360
Максимальная подача, (BxC), град/мин .....	40000x70000
Точность позиционирования, с .....	5

Следует отметить, что в долгосрочной перспективе при серийном производстве установок целесообразно использовать и отечественные системы ЧПУ, что позволит снизить себестоимость технологического оборудования данного типа. Конечно, коммерческая система — быстрое и надежное решение, но параллельно идет раз-

работка экспериментальной системы ЧПУ, что примерно соответствует одному из возможных исполнений проекта по созданию УЛПО.

Рассмотренный метод синхронизации при наличии нескольких контуров управления может быть использован и на других типах технологического оборудования. В частности, схожая конфигурация системы управления была апробирована специалистами ОАО "НИАТ" при разработке установок для электронно-лучевой сварки [10].

#### Список литературы

1. Блинков В.В. Применение лазерных технологий в авиационной промышленности // ЛазерИнформ. 2009. №23 (422).
2. Нестерук И.Н. Гальванометрические сканаторы для лазерных маркирующих комплексов // Фотоника. 2007. №3.
3. Мартинов Г.М., Плихунов В.В., Коваленко А.В. Расширение функциональных возможностей системы ЧПУ для управления установкой электронно-лучевой сварки // Авиационная промышленность. 2009. №1.
4. Мартинов Г.М., Обухов А.И., Пушков Р.Л. Принцип построения универсального интерпретатора языка программирования высокого уровня для систем ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. №6.
5. Мартинов Г. М., Мартинова Л.И. Современные тенденции в области числового программного управления станочными комплексами // СТИН. 2010. №7.
6. Блискавицкий А.А., Кабаев С.В. Операционные системы реального времени (обзор). М.: РТСофт. Цифровой носитель: [http://mka.org.ru/1\\_95/6\\_1.htm](http://mka.org.ru/1_95/6_1.htm).
7. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Григорьев А.С. Специфика разработки программного обеспечения для систем управления технологическим оборудованием в РВ // Спецвыпуск Т-Comm. 2009. Июль.
8. Электроприводы подачи и главного движения станков с ЧПУ. М.: ЭНИМС, 1984.
9. Мартинов Г.М., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Пушков Р.Л. Принцип построения распределенной системы ЧПУ с открытой модульной архитектурой // Вестник МГТУ "Станкин". 2010. №4 (12).
10. Плихунов В.В., Коваленко А.В. Адаптация систем ЧПУ для установок электронно-лучевой сварки // Автоматизация в промышленности. 2010. №5.

**Плихунов Виталий Валентинович** — канд. техн. наук, первый заместитель ген. директора;

**Коваленко Артем Валерьевич** — канд. техн. наук, начальник научно-исследовательского сектора;

**Шлесберг Илья Семенович** — начальник Центра технологий и оборудования механической обработки;

**Орешкин Олег Михайлович** — инженер-программист

ОАО "Национальный институт авиационных технологий" ("НИАТ").

Контактный телефон (495) 312-03-81. E-mail: [avk@niat.ru](mailto:avk@niat.ru)

#### Компания РТСофт подтвердила соответствие сертификату ISO 9001:2008

В марте 2011 г. компания РТСофт прошла ежегодный надзорный аудит системы менеджмента качества на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001:2008. Аудит провели представители одного из ведущих международных сертификационных органов — TÜV NORD CERT (Германия). Они ознакомились с итогами деятельности ряда подразделений РТСофт и положительно оценили результаты функционирования системы менеджмента качества компании за прошедший год.

Отличительной особенностью аудита в этом году стала сертификация системы менеджмента качества филиалов компании: "УралРТСофт", "Дон-РТСофт", "Чебоксары-РТСофт" и "Протвино-РТСофт".

Из заключения группы аудиторов следует, что действующая система менеджмента качества РТСофт, включая ее филиалы, эффективно функционирует и соответствует всем требованиям ISO 9001:2008.

[Http://www.rtssoft.ru](http://www.rtssoft.ru)