

## ОБОБЩЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ ОТ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧПУ

А.В. Коваленко (ОАО «НИАТ»)

*Рассмотрены основные параметры ТП электронно-лучевой и лазерной обработки. Показаны взаимосвязи параметров данных ТП и применяемых в них энергетических источников. Проведен сравнительный анализ особенностей указанных параметров, предложены единые схемы управления такими параметрами от системы ЧПУ.*

*Ключевые слова: система ЧПУ, электронно-лучевая обработка, лазерная обработка.*

В связи с развитием технологий растет популярность электронно-лучевой и лазерной обработки, расширяются их возможности и сферы применения. Усложняется и оборудование, реализующее указанные ТП. В настоящее время сложность и требования к данному оборудованию таковы, что возможностей оператора уже недостаточно, и требуется применение систем ЧПУ.

Для генерирования излучения в таком технологическом оборудовании используется источник технологического воздействия [1], основными компонентами которого являются: энергетический источник и отклоняющая система. Работа источника технологического воздействия определяется набором управляющих параметров, некоторые из которых имеют собственные алгоритмы управления, отличные от реализуемых при помощи команд систем ЧПУ для металлообрабатывающего технологического оборудования [2]. При этом управляющие параметры могут не полностью совпадать с технологическими параметрами, то есть параметрами, записанными в технологической карте процесса.

По режиму работы управляющие параметры делятся на:

- интерполируемые — значение которых изменяется по заданному закону между кадрами управляющей программы [3];
- фиксированные — значение которых поддерживается постоянным на протяжении обработки.

По специфике управляющие параметры делятся на:

- энергетические — определяющие количество энергии, подводимой в зону обработки за единицу времени. Данные параметры определяют режим работы энергетического источника;
- геометрические — определяющие форму и положение энергоносителя (в данном случае — электронного или лазерного луча). Эти параметры управляют работой фокусирующей и отклоняющей систем.

Так, электронно-лучевой источник технологического воздействия имеет наборы технологических и управляющих параметров, отличающиеся между собой (табл. 1). К управляющим относятся шесть параметров: три энергетических (сила тока нагрева катода, ускоряющее напряжение и управляющее напряжение) и три геометрических (сила тока фокусировки и две силы токов отклонения по осям абсцисс и ординат). Сила тока нагрева катода определяется

Таблица 1. Взаимосвязь параметров электронно-лучевого источника и ТП электронно-лучевой обработки

| Параметр источника                  |                |                 | Параметр ТП                         |
|-------------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------------------|
| Название                            | Специфика      | Режим работы    |                                     |
| Сила тока нагрева катода            | Энергетический | Фиксированный   | Сила тока луча                      |
| Управляющее напряжение              | Энергетический | Интерполируемый |                                     |
| Ускоряющее напряжение               | Энергетический | Фиксированный   | Ускоряющее напряжение               |
| Сила тока фокусировки               | Геометрический | Интерполируемый | Сила тока фокусировки               |
| Сила тока отклонения по оси абсцисс | Геометрический | Интерполируемый | Сила тока отклонения по оси абсцисс |
| Сила тока отклонения по оси ординат | Геометрический | Интерполируемый | Сила тока отклонения по оси ординат |

Таблица 2. Взаимосвязь параметров лазерного источника и ТП лазерной обработки

| Параметр источника (совпадает с параметром ТП) |                |                 |
|--|----------------|-----------------|
| Название                                       | Специфика      | Режим работы    |
| Мощность луча                                  | Энергетический | Интерполируемый |
| Фокусировка луча                               | Геометрический | Интерполируемый |
| Отклонение луча по оси абсцисс                 | Геометрический | Интерполируемый |
| Отклонение луча по оси ординат                 | Геометрический | Интерполируемый |

конструкцией и материалом катода, в большинстве случаев она является фиксированной величиной. Несмотря на то, что многие современные высоковольтные источники и электронно-лучевые пушки позволяют регулировать ускоряющее напряжение без внесения конструктивных изменений, в большинстве электронно-лучевых ТП этот параметр является фиксированным и не меняется на протяжении обработки.

Число технологических параметров на единицу меньше: два энергетических (ускоряющее напряжение и сила тока луча) и три геометрических, повторяющих аналогичные управляющие. При этом сила тока луча имеет степенную зависимость от ускоряющего и управляющего напряжений [4]. Так как сила тока нагрева катода и ускоряющее напряжение являются постоянными, для управления силой тока луча достаточно изменять управляющее напряжение.

Режим работы лазерного источника технологического воздействия определяется четырьмя параметрами (табл. 2) [5]: одним энергетическим (мощность излучения) и тремя геометрическими (фокусировка луча, отклонение луча по осям абсцисс и ординат).

Таблица 3. Способы управления параметрами ТП при помощи системы ЧПУ

| Специфика      | ТП                                       |                                | Способ управления |
|----------------|--|--------------------------------|-------------------|
|                | Электронно-лучевая обработка             | Лазерная обработка             |                   |
| Энергетический | Сила тока луча                           | Мощность луча                  | Ось ЧПУ           |
|                | Ускоряющее напряжение                    |                                | Настройки         |
| Геометрический | Сила тока фокусировки                    | Фокусировка луча               | Ось ЧПУ           |
|                | Сила тока отклонения луча по оси абсцисс | Отклонение луча по оси абсцисс |                   |
|                | Сила тока отклонения луча по оси ординат | Отклонение луча по оси ординат |                   |

Таблица 4. Особенности управления параметрами различных ТП

| Энергоноситель  | Параметр   | ТП                     |                        |                  |                         |
|-----------------|--|------------------------|------------------------|------------------|-------------------------|
|                 |  | Сварка                 | Пайка                  | Резка            | Поверхностная обработка |
| Электронный луч | Сила тока луча                                       | Импульсный режим       |                        | Импульсный режим |                         |
|                 | Силы токов отклонения луча по осям абсцисс и ординат | Развертка разных видов | Развертка разных видов | -                | Телевизионная развертка |
| Лазерный луч    | Мощность луча  | Импульсный режим       | Импульсный режим       | Импульсный режим | -                       |
|                 | Отклонение луча по осям абсцисс и ординат            |                        |                        |                  | Телевизионная развертка |

Все перечисленные параметры являются технологическими и требуют интерполяции.

С целью повышения удобства технологов и операторов установок для описания рассматриваемых ТП в системе ЧПУ следует использовать технологические параметры. В зависимости от режима работы для управления параметрами ТП можно использовать различные алгоритмы, заложенные в коммерческие системы ЧПУ (табл. 3) [6].

В частности, интерполируемые параметры используют линейную, реже — круговую интерполяцию, для управления такими параметрами возможно использование осей ЧПУ, реализующих данные функции. Существует как минимум четыре возможных пути аппаратной реализации такого решения на базе коммерческой системы ЧПУ [7]:

- с использованием интерфейса ЧПУ-ПЛК, обеспечивая таким образом передачу на выходы ПЛК текущих значений осей на каждом такте интерполяции;

- с использованием открытой архитектуры ядра ЧПУ, получая текущие значения осей через программный модуль, подключенный к ядру ЧПУ;
- с использованием внешнего устройства, представляемого для системы ЧПУ как интеллектуальный привод;
- с использованием внешнего интерполятора, синхронизируемого с интерполятором системы ЧПУ по интервалу выполнения заданий.

Значения фиксированных параметров (как следует из определения) остаются неизменными на протяжении обработки — для управления ими можно использовать различные типы настроек: например, M-команды или машинные данные. Аппаратно значения этих параметров можно передавать на источник технологического воздействия с помощью выходов ПЛК.

Однако некоторые из перечисленных параметров имеют особые алгоритмы работы, активируемые в случае необходимости. Как видно из табл. 4, это относится только к интерполируемым параметрам.

Например, для реализации большинства ТП необходимо наличие возможности импульсного управления мощностью излучения (силой тока электронного луча и мощностью лазерного луча) с программируемыми параметрами импульса. С этой целью в контур управления энергетическими параметрами ТП необходимо добавить управляемый модулятор (рис. 1).

Показанный на схеме преобразователь необходим только для случаев, когда энергетические технологические и управляющие параметры не совпадают. В случае электронно-лучевой обработки он представляет собой степенную функцию, вычисляющую значение управляющего напряжения (интерполируемый управляющий параметр) в зависимости от значений силы тока луча (интерполируемый технологический параметр) и заданной величины ускоряющего напряжения (фиксированный управляющий параметр). При этом коэффициенты функции задаются в виде

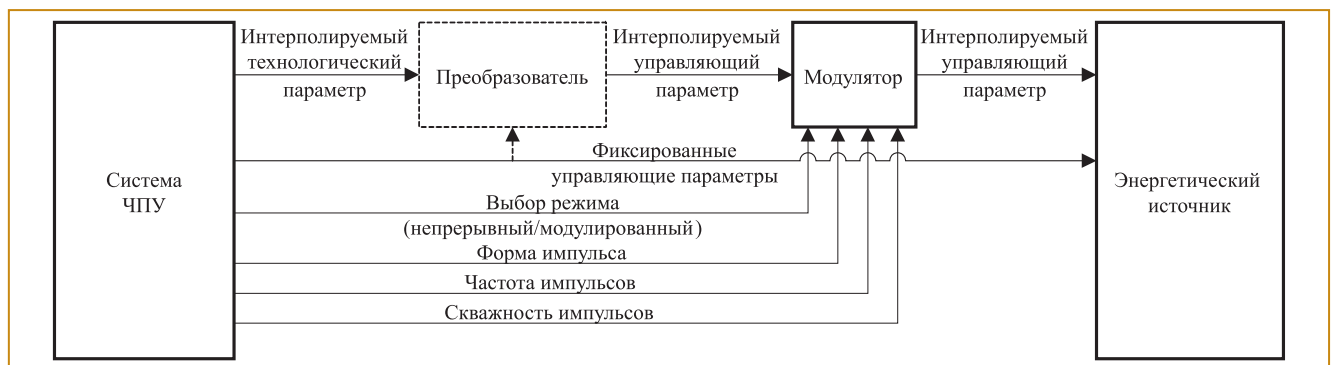


Рис. 1. Общая схема управления энергетическими параметрами ТП электронно-лучевой и лазерной обработки

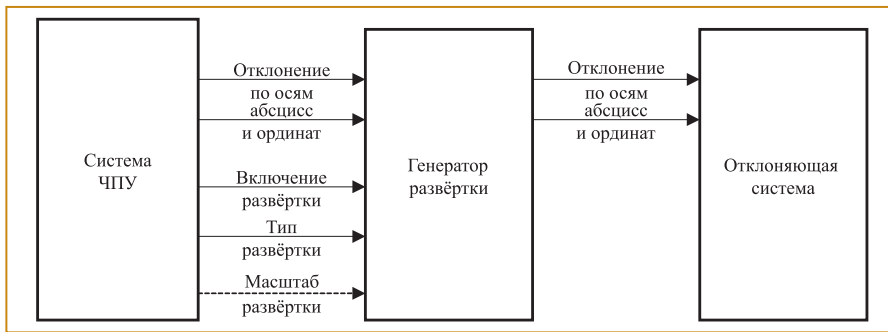


Рис. 2. Общая схема управления параметрами отклонения энергоносителя ТП электронно-лучевой и лазерной обработки

настроек или машинных данных. Для лазерной обработки преобразователь не требуется.

Также в соответствии с табл. 4, для управления отклонением энергоносителя (луча) по осям абсцисс и ординат требуется возможность выполнения развёртки. Для этого одновременно в оба контура необходимо включить программируемый генератор развёртки (рис. 2).

Отметим, что некоторые разработчики источников технологического воздействия интегрируют блоки, изображенные на рис. 3 и 4, в выпускаемую ими продукцию. Например, GUTH High Voltage GmbH (Германия) включает преобразователь в состав своих высоковольтных источников, а большинство производителей лазерных сканаторов комплектуют их контроллерами с возможностью задания развёртки различных форм.

Однако вышесказанное не снижает требований к системе ЧПУ. Для реализации управления описанными источниками технологического воздействия потребуется универсальная система ЧПУ, обладаю-

щая расширенным синтаксисом управляющих программ и реализующая алгоритмы управления энергетическими и геометрическими параметрами с помощью новых аппаратных решений.

#### Список литературы

1. Коваленко А.В. Универсальная система ЧПУ для аддитивного технологического оборудования и гибкой производственной системы // Автоматизация в промышленности. 2019. № 5. С. 35-37.
2. Martinova L., Martinov G. (2018). Automation of Machine-Building Production According to Industry 4.0. In: 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications. Vladivostok, pp. 1-4.
3. Martinova L., Martinov G. (2019). Prospects for CNC Machine Tools. Russian Engineering Research, 39 (12), pp. 1080-1083.
4. Коваленко А.В. Автоматизация управления параметрами электронного луча (на примере триодной прямоугольной электронно-лучевой пушки) // Автоматизация в промышленности. 2012. №5. С. 34-35.
5. Коваленко А.В., Орешкин О.М. Особенности управления технологическими процессами электронно-лучевой и лазерной обработки от системы ЧПУ // Автоматизация в промышленности. 2015. №5. С. 42-46.
6. Коваленко А.В. Концепция универсальной системы ЧПУ для современного технологического оборудования // Авиационная промышленность. 2011. № 4. — С. 36-41.
7. Martinov G.M., Kovalenko A.V. Additive process equipment control system for integration into a flexible manufacturing system // XXI International Conference "Complex Systems: Control and Modeling Problems". 2019.

**Коваленко Артем Валерьевич** — канд. техн. наук, зам. генерального директора по научно-исследовательской деятельности ОАО «Национальный институт авиационных технологий». Контактный телефон +7 (495) 312-11-49. E-mail: avk@niat.ru

#### Высокоскоростная производственная линия с мобильными роботами

Компания TePe занимается разработкой и производством высококачественных функциональных средств гигиены полости рта. При этом управление одной из производственных линий на заводе в г. Мальме (Швеция) все еще частично осуществлялось вручную. Компания TePe искала решение для замены старой производственной линии, чтобы обеспечить более высокую скорость и производительность наряду с другими преимуществами интеллектуальных решений по автоматизации Omron.

Реализованная система включает пять роботов: робот Omron SCARA и четыре робота Codian, а также 10 систем оптического контроля в одной производственной ячейке и множество сопутствующих деталей. Управление полным комплектом оборудования выполняется с помощью универсального машинного контроллера Sysmac.

С момента поэтапного внедрения новой линии компания TePe добавила два мобильных робота Omron LD с целью снижения затрат на логистику и повышения безопасности на предприятии. Мобильные роботы осуществляют транспортировку предметов между различными устройствами, а также перемещают их со склада на производственную линию, что позволяет освободить

сотрудников от выполнения повторяющихся операций, улучшая работу системы логистики и вместе с тем повышая безопасность и эффективность. В течение следующих 6 мес. в производство TePe планируется внедрить еще восемь мобильных роботов.

Новая производственная линия отвечает требованиям первичной спецификации, позволяя изготавливать 300 упаковок зубных щеток в минуту, что в 9 раз превышает производительность предыдущей линии. Каждая упаковка может содержать до восьми продуктов как одного, так и разных типов. В связи с этим продукция перемещается с помощью восьми различных устройств подачи, после чего робот следует инструкциям по выбору правильного количества продуктов для каждой упаковки. Инструкции могут быть изменены в зависимости от конкретных требований.

Автоматизированное решение пришло на смену ручному управлению и контролю качества, основное внимание было уделено фактору гибкости. С помощью новой машины TePe может поставлять упаковку, соответствующую требованиям клиентов по всему миру. Изменение настроек занимает несколько секунд, и если покупатель хочет получить определенный набор продуктов, теперь TePe может выполнить поставку гораздо быстрее.

<https://industrial.omron.ru/ru/>