

нологическую разработку с удобным и простым интерфейсом программирования и широкими возможностями вычислений.

Стандартный станок HG-92 позволяет легко достичь требований по точности, в том числе благодаря конструкционным особенностям и использованию измерительных систем. Однако необходимые условия обработки требуют специфичных решений:

- абсолютная измерительная система контактного типа MDM, разработанная и произведенная компанией DANOBAT, позволяет измерять каждую поверхность, подлежащую шлифованию, прямо во время обработки; в конце шлифовального цикла геометрические параметры обрабатываемых поверхностей могут быть измерены в автоматическом режиме, и выдан специальный отчет;

- контактный датчик, показывающий статус зажатия заготовки между центрами;
- универсальная бесконтактная система измерения лопаток лазером позволяет проводить замеры различных поверхностей лопатки, при этом отпадает необходимость в использовании измерительных стандартов для каждого типа лопаток.

Компания DANOBAT смогла предложить комплексное решение, базирующееся на использовании всего одного станка по обработке роторов различных турбокомпрессоров корабельных двигателей, обеспечивая высокую точность обработки (качество IT5 и шероховатость Ra 0,4). Именно поэтому компания MAN Diesel & Turbo отдала предпочтение вышеописанной технологии и доверила компании DANOBAT этот и будущие проекты.

Контактный телефон +7(499) 685-16-42.

Email: info@danobatgroupussia.ru

Http://: www.danobatgroup.com/ru

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ОТ СИСТЕМЫ ЧПУ

А.В. Коваленко, О.М. Орешкин (ОАО НИАТ)

Рассмотрены ТП электронно-лучевой и лазерной обработки и их основные параметры. Проведен анализ особенностей управления параметрами этих ТП, определены их сходства и различия с позиции управления. Предложена схема управления параметрами указанных ТП при помощи системы ЧПУ.

Ключевые слова: ЧПУ, система управления, электронно-лучевая обработка, лазерная обработка, исполнительный орган, энергоноситель.

В современном машиностроении все более широкое распространение получают ТП, использующие различные немеханические виды технологического воздействия, в частности, термическое. Для их реализации используется энергоноситель — физическое явление, при котором необходимая для обработки энергия образуется путем передачи или путем превращения внутри обрабатываемых деталей (в соответствии с ГОСТ Р ИСО 857-1-2009. Сварка и родственные процессы. Словарь. Часть 1. Процессы сварки металлов. Термины и определения).

К числу таких ТП относится электронно-лучевая обработка [1], включающая: электронно-лучевую сварку, пайку, наплавку, полировку и ряд других. В качестве энергоносителя в данном виде обработки используется электронный луч — поток электронов, разогнанных в поле высокого напряжения до околосветовых скоростей и сконцентрированных электромагнитными линзами до необходимой плотности энергии (рис. 1) [2]. Кинетическая энергия электронов при их соударении с обрабатываемыми заготовками преобразуется в тепловую, используемую для реализации ТП.

Получение электронов и формирование их в электронный луч осуществляется устройством — элек-

тронно-лучевой пушкой (ЭЛП). Эмиссионная система ЭЛП, в которой происходит получение свободных электронов, в общем случае представляет собой триод и состоит из катода, анода и управляющего электро-

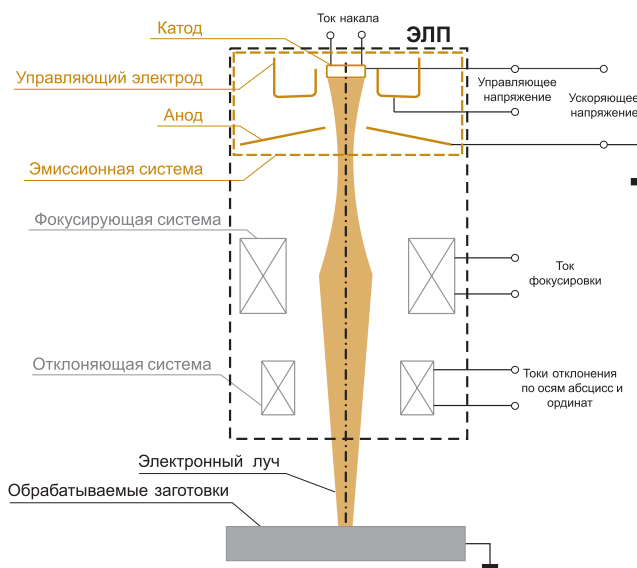


Рис. 1. Общая схема электронно-лучевой обработки (ЭЛП с термоэмиссионным катодом)

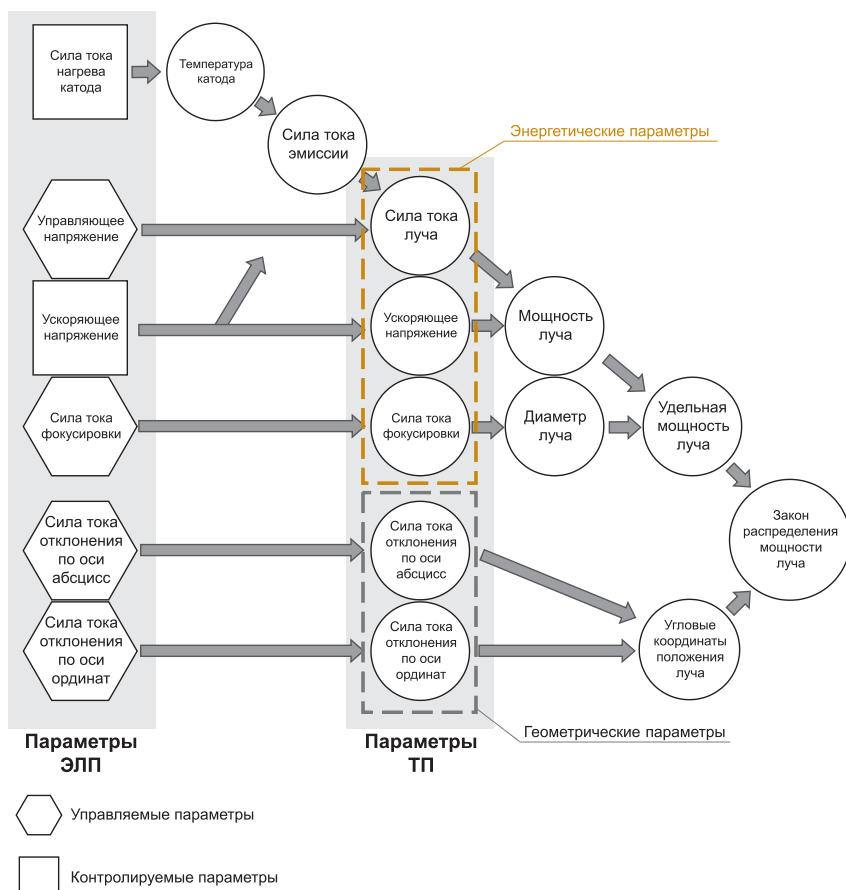


Рис. 2. Взаимосвязи параметров ЭЛП и ТП электронно-лучевой обработки

да (электрода Венельта). В большинстве современных ЭЛП применяются термоэмиссионные катоды прямого или принудительного нагрева, выполненные в виде ленты или диска соответственно, также в последнее десятилетие все большее распространение стали получать ЭЛП с плазменными катодами. Окончательное формирование электронного луча происходит в фокусирующей системе, состоящей из электрической катушки, ось которой совпадает с осью луча. Сила тока, протекающего через эту катушку, определяет положение перетяжки на оси электронного луча. Отклоняющая система, также входящая в состав ЭЛП, включает в себя две пары электрических катушек, расположенных вдоль осей абсцисс и ординат системы координат, связанной с ЭЛП. Эта система предназначена для корректировки направления электронного луча и при необходимости формирования разверток различных форм на определенном участке. Основное перемещение обрабатываемых заготовок относительно ЭЛП производится исполнительными органами станочного комплекса технологического оборудования. Для формирования электронного луча ЭЛП помещают в вакуум, в противном случае энергия электронов рассеется раньше, чем они достигнут об-

рабатываемых заготовок. Помимо этого, вакуум является хорошей защитной средой, позволяющей производить обработку без внесения в материал заготовок дополнительных примесей, неизбежно возникающих при работе в атмосфере.

Работа ЭЛП определяется следующими параметрами: сила тока нагрева катода (для ЭЛП с плазменным катодом этим параметром является сила тока разряда), управляющее напряжение (напряжение Венельта), ускоряющее напряжение, сила тока фокусировки и две силы токов отклонения луча по осям абсцисс и ординат. Последние четыре параметра также являются параметрами ТП электронно-лучевой обработки (рис. 2). Сила тока луча, являющаяся пятым параметром ТП, определяется эмиссионными свойствами катода, а также величинами ускоряющего и управляющего напряжений и связана с ними по степенному закону [3]. При этом сила тока луча и ускоряющее напряжение являются энергетическими параметрами, в то время как остальные три параметра ТП задают геометрию электронного луча, а взаимосвязь энергетических и геометрических параметров определяет закон распределения мощности, вводимой в зону обработки.

Как правило, в современных ЭЛП с термоэмиссионным катодом температура катода поддерживается постоянной за счет поддержания постоянного значения силы тока его нагрева, а регулирование силы тока электронного луча производится при помощи изменения величины управляющего напряжения. Ускоряющее напряжение также поддерживается постоянным, но в некоторых конструкциях ЭЛП его значение

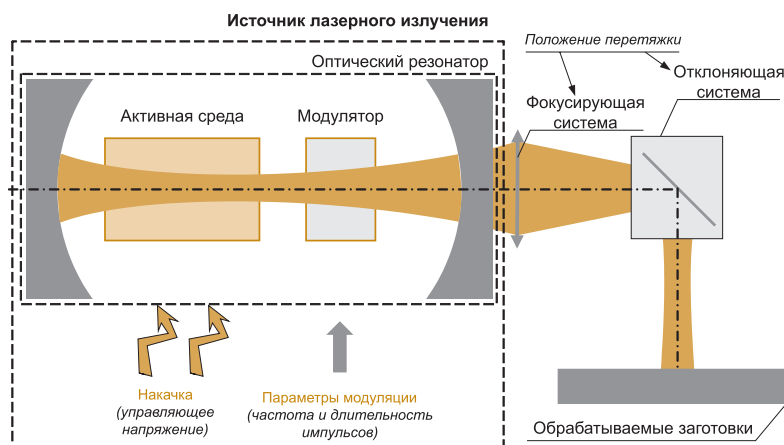


Рис. 3. Общая схема лазерной обработки

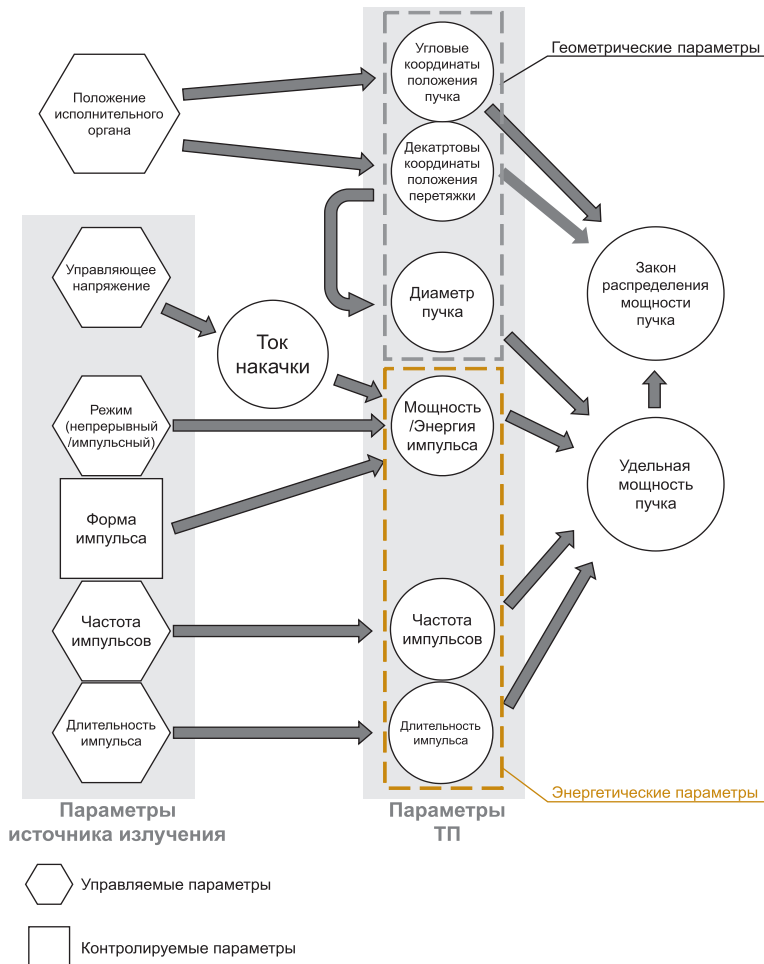


Рис. 4. Взаимосвязи параметров источника лазерного излучения и ТП лазерной обработки

может быть изменено перед началом обработки в зависимости от требований конкретного ТП. Таким образом, перечисленные два параметра ЭЛП являются контролируруемыми. Сила тока луча, сила тока фокусировки, а также силы токов отклонения луча по осям абсцисс и ординат могут изменяться в процессе обработки. По этой причине соответствующие им параметры ЭЛП также должны изменяться и составляют набор управляемых параметров.

Таблица 1. Управление параметрами ТП при помощи системы ЧПУ

		:	/
		:	

Другим видом ТП, использующим энергоноситель в качестве источника технологического воздействия, является лазерная обработка. В последнее десятилетие лазерная обработка получила широкое распространение: это лазерная резка, сварка, наплавка, полирование, поверхностное упрочнение, гравировка, сверление и т.д. [4]. Как следует из названия, в качестве энергоносителя данный вид ТП использует лазерное излучение — когерентное монохроматическое электромагнитное излучение [5].

Источником лазерного излучения является оптический резонатор с активной средой (кристаллом, газом, оптоволокном и т.д.), генерация излучения в котором происходит за счет вынужденной эмиссии фотонов (рис. 3). Энергия для поддержания эмиссии может поступать разными путями, наиболее распространенным является оптическая накачка активной среды с помощью светодиодов либо газоразрядных ламп. В случае необходимости реализации импульсного режима работы в источник лазерного излучения может быть интегрирован модулятор — электрооптический или акустооптический затвор. Формирование лазерного пучка производится при помощи фокусирующей системы, установленной на выходе источника лазерного излучения, параметры которой определяют положение перетяжки на оси лазерного пучка. Для отклонения лазерного пучка могут использоваться исполнительные органы станочного комплекса технологического оборудования, однако скорость их перемещения ограничена из-за большого значения подвижных масс и может оказаться недостаточной в случае необходимости осуществления развертки. В этом случае для реализации развертки применяется сканирующая головка, использующая низкоинерционные гальванометрические двигатели, которые способны отклонять оптическую ось лазерного пучка и производить развертку пучка с большой скоростью и ускорением. На таких сканирующих системах (например, производства фирм Raylase, ScanLab) построены системы лазерной маркировки, гравировки, поверхностной обработки. Также сканирующая головка может комплектоваться устройством для корректировки положения перетяжки лазерного пучка. В отличие от электронно-лучевой обработки, лазерная обработка, как правило, происходит в газозащитной среде при атмосферном давлении.

При управлении лазерным пучком параметры ТП (рис. 4), аналогично параметрам ТП электронно-лучевой обработки, можно разделить на геометрические и энергетиче-

Таблица 2. Конфигурации систем ЧПУ для технологического оборудования производства ОАО НИАТ

-08	SINUMERIK 840Di sl	SINAMICS S120	« »	2	4	-
-08 -	SINUMERIK 840D sl	SINAMICS S120	Pro-Beam Systems GmbH	2	4	
-20 2	SINUMERIK 840D sl	SINAMICS S120	. . . +	5	4+4	
-300 « »	SINUMERIK 840D	SIMODRIVE 611D	« - » + RAYLASE AG	5	1+3	-
-1500 « »	SINUMERIK 840D sl	SINAMICS S120	« - »	6	1	

ские. Положение исполнительного органа (сканирующей головки) определяет направление лазерного пучка в каждый момент времени, а также положение перетяжки лазерного пучка относительно обрабатываемых заготовок. Управление энергетическими параметрами различается в зависимости от режима работы источника лазерного излучения. При непрерывном режиме работы мощность излучения определяется величиной управляющего напряжения. При импульсном режиме работы к параметрам источника лазерного излучения добавляются частота и длительность импульса, являющиеся также параметрами ТП. Форма импульса зависит от конструктивных особенностей используемого модулятора и не может быть изменена.

Для эффективной реализации перечисленных ТП система ЧПУ должна обеспечивать одновременное управление параметрами исполнительных органов, осуществляющих взаимное перемещение обрабатываемых заготовок и источника технологического воздействия, и параметрами энергоносителя, осуществляющего это воздействие. В связи с тем, что параметры исполнительных органов задаются в системе ЧПУ при помощи осей, а изменение этих параметров должно быть синхронизировано с изменением ряда управляемых параметров энергоносителя, зачастую требующих применения различных видов интерполяции, эти управляемые параметры энергоносителя целесообразно также задавать в системе ЧПУ в виде осей, но имеющих другое функциональное назначение [6, 7]. Так как коммерческие системы ЧПУ, широко представленные в настоящее время на рынке, рассчитаны в первую очередь на работу с исполнительными органами технологического оборудования и не предназначены для управления параметрами энергоносителей, такие оси могут потребовать реализации дополнительных алгоритмов, учитывающих специфику реализуемых ТП (например, необходимость применения развертки) и используемых источников излучения [3]. Основной проблемой в данном случае является передача текущих значений осей, управляющих параметрами энергоносителей, из ядра ЧПУ в контуры управле-

ния источниками технологического воздействия с минимально допустимой задержкой [7]. Некоторые производители используют для управления энергетическими параметрами так называемые аналоговые оси, позволяющие транслировать текущие значения виртуальных осей на аналоговые выходы ПЛК. Это решение плохо подходит для управления параметрами отклонения, поскольку не позволяет осуществлять развертку. Для реализации развертки в этом случае обычно используются дополнительные устройства, что значительно усложняет конструкцию контура управления.

Контролируемые, а также некоторые управляемые параметры энергоносителя не требуют интерполяции, их обработка может производиться при помощи ПЛК, входящего в состав системы ЧПУ. Величины этих параметров могут задаваться в настройках перед началом обработки (ускоряющее напряжение) или в управляющей программе при помощи дополнительных команд (режим работы источника лазерного излучения, длительность и частота импульсов) с последующей трансляцией в ПЛК через внутренний интерфейс обмена с ядром системы ЧПУ. Стоит отметить, что в отличие от источника лазерного излучения, конструкцией ЭЛП не предусмотрено наличие модулятора, в случае необходимости модуляции электронного луча она реализуется путем задания соответствующего периодического закона изменения управляющего напряжения.

Обобщенная схема управления параметрами перечисленных ТП приведена в табл. 1. Системы ЧПУ, построенные в соответствии с данной схемой, используются в технологическом оборудовании, создаваемом в ОАО «Национальный институт авиационных технологий» (ОАО НИАТ) на базе коммерческих моделей SIEMENS SINUMERIK 840D. В настоящее время такими системами ЧПУ оборудованы установки электронно-лучевой сварки ЭЛУ-08КП, ЭЛУ-08 КП-ИРЗ, ЭЛУ-20АМ2, а также лазерные технологические комплекты МС-300 «Лазер» и ТС-1500 «Лазер» (табл. 2).

В частности, для реализации управления параметрами ЭЛП специалистами ОАО НИАТ был разрабо-

тан экспериментальный аппаратный модуль, представляющий собой программно-аппаратную реализацию алгоритмов управления параметрами энергоносителя [7]. Обмен данными между модулем и системой ЧПУ SINUMERIK 840Di осуществляется при помощи промышленной шины PROFIBUS-DP, используемой также для связи системы ЧПУ со штатными приводами SINAMICS S120. Данный модуль содержит четыре контура, реализующих управление силой тока луча, силой тока фокусировки и силами токов отклонения луча по осям абсцисс и ординат с возможностью включения масштабируемой растровой развертки. Управляющие значения для этих контуров передаются из системы ЧПУ (текущие положения по осям, управляющим параметрами энергоносителя) и ПЛК (M-команды).

Похожий модуль был разработан для управления сканирующей головкой, входящей в состав лазерного технологического комплекса МС-300 «Лазер». При проектировании систем ЧПУ для более поздних моделей технологического оборудования от такой концепции было решено отказаться в пользу программного решения из-за ряда технических проблем.

*Коваленко Артем Валерьевич — канд. техн. наук, начальник научно-исследовательского сектора;
Орешкин Олег Михайлович — научный сотрудник ОАО «Национальный институт авиационных технологий» (ОАО НИАТ).
Контактный телефон (495) 312-03-81.
E-mail: avk@niat.ru*

Список литературы

1. Акулич Н.В. Процессы производства черных и цветных металлов и их сплавов. Гомель. 2008.
2. Глазов С.И., Люшинский А.В., Магнитов В.С., Обознов В.В., Чуклинов С.В. Основы технологии электронно-лучевой и диффузионной сварки. Под общей научной редакцией Сироткина О.С., Чуклинова С.В. Рыбинск: Рыбинский дом печати. 2001.
3. Коваленко А.В. Автоматизация управления параметрами электронного луча (на примере триодной прямонакальной электронно-лучевой пушки) // Автоматизация в промышленности. 2012. №5. С. 34-35.
4. Григорьянц А.Г. Шиганов, И.Н. Мисюрлов А.И. Технологические процессы лазерной обработки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2006.
5. R. Poprawe. Tailored Light 1: High Power Lasers for Production. Springer. 2009.
6. Коваленко А.В., Орешкин О.М. Реализация системы управления технологическим процессом лазерного полирования на базе системы ЧПУ Siemens SINUMERIK 840D//Автоматизация в промышленности. 2013. № 5. С. 41-43.
7. Коваленко А.В. Концепция универсальной системы ЧПУ для современного технологического оборудования//Авиационная промышленность. 2011. № 4. С. 36-41.

Сверхлегкий воздушный акробат

Компания Festo в сотрудничестве с известными университетами и компаниями-разработчиками создали робота-стрекозу BionicOpter. Крылья робота-стрекозы состоят из углеволоконной рамы и тонкого покрытия из фольги. Корпус и механические элементы, изготовленные из эластичного полиамида и терполимера, позволяют достичь гибкости, сверхмалого веса и вместе с тем прочности всей системы. В сверхминиатюрном теле стрекозы размещаются аккумулятор, восемь сервомоторов, высокопроизводительный контроллер ARM, датчики и беспроводные модули. При размахе крыльев 63 см и теле длиной 44 см ее вес составляет всего 175 г.

Во время работы дистанционная система управления передает сигналы и сообщающие BionicOpter по беспроводной связи в РВ. Ускорение и угол наклона робота в пространстве измеряются с помощью инерционных датчиков. Встроенные датчики положения и ускорения определяют скорость и направление полета стрекозы в пространстве. Помимо управления частотой взмахов и поворотом, в каждое из четырех крыльев также встроена система управления амплитудой. Это означает, что вектор тяги и силу тяги для всех четырех крыльев можно регулировать в индивидуальном порядке, что позволяет стрекозе перемещаться практически в любом направлении в пространстве. Интеллектуальная кинематика осуществляет корректировку любых вибраций во время полета и обеспечивает стабильный полет как в помещении, так и на открытом воздухе.

Робот-стрекоза BionicOpter совершает свои уникальные маневры благодаря наличию 13 степеней свободы.

Мотор в нижней части тела обеспечивает единую частоту взмахов четырех крыльев (1-я степень свободы). Крылья BionicOpter способны переходить из горизонтального положения в вертикальное. В это время каждое крыло работает от отдельного сервомотора и поворачивается на угол до 90° (2...5-я степени свободы). Четыре мотора на размахах крыльев управляют амплитудой взмахов. Линейный привод в основании крыла приводит в действие встроенный кривошипный механизм, изменяя характеристики отклонения в пределах примерно 80...130° (6...9-я степени свободы). Поворот крыльев определяет направление тяги. Устройство управления амплитудой взмахов позволяет регулировать силу тяги. Последние четыре степени свободы предусмотрены для головы и хвоста. В теле стрекозы находятся четыре гибких мускула, изготовленных из нитинола. Сплавы с эффектом запоминания формы сжимаются под воздействием тепла и вытягиваются при охлаждении. Ток, проходящий через такие сплавы, активирует сверхлегкие приводы, которые перемещают головную часть в горизонтальном, а хвост в вертикальном направлении (10...13-я степени свободы).

Робот BionicOpter — это воплощение основных элементов будущих технологий «Индустрия 4.0». Искусственная стрекоза в малом масштабе демонстрирует возможности для перехода от существующих централизованных систем управления на предприятии к децентрализованной высокоэффективной самоорганизации. Многие задачи, которые сейчас выполняются главным компьютером, в будущем могут быть переданы для выполнения самими элементами.

[Http:// www.festo.com/en/bionicopter](http://www.festo.com/en/bionicopter)