

УДК 621.587.2

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМ КОМПЛЕКСОМ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЕРА

Ю. В. Турыгин¹, С. А. Платов²

¹turygin@istu.ru, ²serge.platov@gmail.com

¹ ФГБОУ ВО «Ижевский государственный университет им. М. Т. Калашникова» (ИжГТУ)

² ООО «НПЦ Пружина»

Поступила в редакцию 30.06.2019

Аннотация. При создании роботизированного комплекса, обеспечивающего обработку изделия на технологической операции, имеющего в своем составе промышленный робот-манипулятор и технологическое оборудование требуемого назначения, предлагается решение автоматизированной системы управления на базе промышленного контроллера, включая пример аппаратно-программной реализации, обеспечивающей управление роботизированным комплексом в целом и отдельных его элементов в частности. Разработан предложенный метод интеграции автоматизированной системы управления в систему АСУТП предприятия. Рассмотрены языки программирования, используемые при разработке программ управления для промышленного контроллера, обеспечивающего управление комплексом, рекомендуемые при промышленном применении. Представлена функциональная схема автоматизированной системы управления роботизированным комплексом на базе промышленного контроллера, в том числе приведен пример ее практической реализации.

Ключевые слова: программируемый логический контроллер; роботизированный комплекс; автоматизированная система управления; плазменная резка; АСУ; АСУТП; РТК; PLC; HMI.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современного производственного предприятия применение роботизированных комплексов (РТК), обеспечивающих выполнение работы на технологических операциях, позволяет в значительной степени увеличить эффективность производства и повысить качество обработки изделий, а также частично или полно-

стью исключить человеческий ресурс в том числе на опасных и монотонных операциях. Работа роботизированного комплекса в большей степени определяется автоматизированной системой управления (АСУ), которая обеспечивает все необходимые функциональные требования, предъявляемые к ней.

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС

Роботизированный комплекс подразумевает наличие в своем составе один или несколько промышленных роботов-манипуляторов, технологическое оборудование требуемого назначения и другие

Публикация подготовлена в рамках работ по проекту 05.13.06 /18ТЮВ, реализуемому на основании Приказа ректора ФГБОУ ВО ИжГТУ имени М. Т. Калашникова от 29 декабря 2018 г. № 1493 «О грантовой поддержке приоритетных исследований ученых ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» при финансовой поддержке ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова».

необходимые элементы, управление которыми обеспечивается автоматизированной системой управления. Назначение комплекса – обеспечение процесса обработки изделий на технологической операции в соответствии с заданными технологическими параметрами процесса. В качестве примера на рис. 1 представлен роботизированный комплекс обработки торцов пружин методом плазменной резки, обеспечивающий технологическую операцию «Обработка торцов пружин». Данная операция входит в состав процесса производства на современном предприятии по изготовлению пружин из прутков пружинной стали диаметром от 16 до 70 мм, изготовленных методом горячей навивки [1].

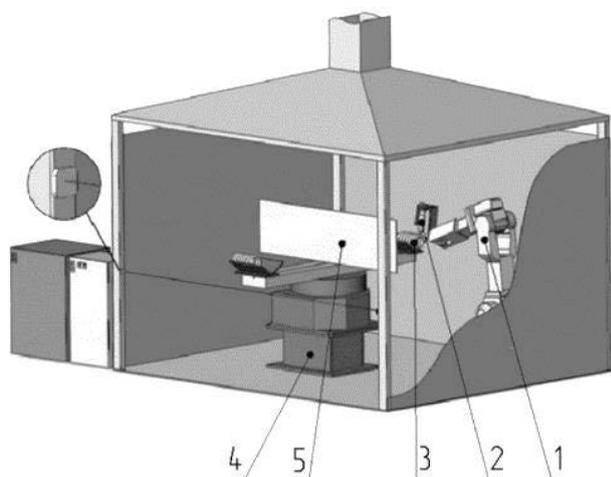


Рис. 1. Роботизированный комплекс обработки торцов пружин:

1 – промышленный робот; 2 – плазматрон (режущий инструмент); 3 – обрабатываемая пружина;
4 – поворотный стол; 5 – защитный экран

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К УПРАВЛЕНИЮ

Функциональные требования к управлению роботизированным комплексом определяются индивидуально, в зависимости от условий эксплуатации, назначения, технологического оборудования, входящего в состав комплекса, и других факторов.

Для представленного роботизированного комплекса, предназначенного для работы в условиях современного предприятия по изготовлению пружин, сформированы следующие функциональные требования к ав-

томатизированной системе управления роботизированным комплексом:

1) регистрация оператора. Данное требование необходимо для идентификации оператора, а также определения его полномочий при работе на данной единице оборудования. Допуск к работе предоставляется только после обучения по утвержденной программе и сдачи квалификационных экзаменов;

2) регистрация карты партии обрабатываемых изделий – с целью определения соответствия обрабатываемых изделий на данном оборудовании, а также для получения информации, содержащей технологические параметры процесса обработки в соответствии с типом обрабатываемых изделий, из базы данных (БД) автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) предприятия;

3) человеко-машинный интерфейс, необходимый для контроля и управления роботизированного комплекса, а также обеспечения достаточного и необходимого обмена информационными данными, между «машиной» и человеком, на русском языке, обеспечиваемого интерфейсом;

4) управление комплексом в ручном режиме, в том числе его отдельными элементами, для проверки работоспособности их в случае необходимости;

5) управление комплексом в автоматическом режиме, для обработки партии изделий по программе в соответствии с заданными параметрами технологического процесса – основной режим работы комплекса для обработки изделий;

6) аварийное отключение роботизированного комплекса по команде оператора, для предотвращения ситуаций, связанных с безопасной работой на оборудовании, его выхода из строя и в случае нештатной ситуации, вызванной разными причинами;

7) контроль работы элементов комплекса и их состояния, с целью своевременного обнаружения неисправности(ей) в работе элементов комплекса и их своевременного устранения. В качестве примера можно привести пневмоцилиндр, перемещение штока которого должно обеспечиваться

за определенное время, контролируя которое можно диагностировать его рабочее состояние;

8) учет времени работы инструмента, имеющего ограниченный ресурс работы по времени, с выдачей информационного сообщения о его замене, с целью повышения качества обрабатываемых изделий за счет проведения своевременной его замены. Режущий инструмент, который входит в состав рассматриваемого комплекса, имеет в своем составе деталь-катод, который требуется заменить после обработки 2000 единиц обрабатываемых изделий. В случае не своевременной замены он «выгорает», что приводит к снижению качества обработки изделий и серьезной поломке оборудования плазменной резки;

9) учет времени работы узлов, требующих своевременного обслуживания с целью проведения своевременного технического обслуживания механизмов, к примеру смазка подшипников скольжения;

10) предоставление необходимых данных средствами АСУТП, смежным системам верхнего уровня типа MES, ERP и другим для контроля и управления процессом производства, в том числе подготовки автоматизированных отчетов для руководителя и причастных служб;

11) самодиагностика автоматизированной системы управления роботизированным комплексом, с целью исключения работы комплекса и его элементов в случае выявления неисправности.

Автоматизированная система управления роботизированным комплексом, удовлетворяющая всем вышеперечисленным требованиям, обеспечит работу оборудования в условиях современного предприятия по изготовлению пружин, при этом повысится качество обрабатываемых изделий за счет:

- обеспечения доступа к работе на данном оборудовании сотрудников, имеющих право на нем работать;

- исключения ошибок при вводе технологических параметров процесса обработки. Ошибочно введенные данные могут привести к изготовлению бракованной продукции;

- своевременной замены режущего инструмента;

- проведения планового обслуживания узлов и механизмов в требуемые сроки. Своевременное обслуживание узлов и механизмов уменьшает вероятность отказа оборудования.

Реализация заданных функциональных требований может быть обеспечена только при наличии аппаратно-программных возможностей автоматизированной системы управления.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ

Управление манипулятором промышленного робота (движение звеньев, составляющих манипулятор робота) обеспечивается собственной системой управления (СУ), конструктивно которая состоит из материнской процессорной платы с расположенными на ней слотами для плат функционального расширения: платами дискретного ввода/вывода, интерфейсом для информационного обмена данными Ethernet и RS-232, платами аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования, других типов плат функционального расширения. Управление двигателями звеньев манипулятора обеспечивают сервоприводы.

Работа манипулятора осуществляется под управлением разработанной специалистом программы управления, синтаксис написания которой аналогичен языку программирования Basic [2]. Данные программы хранятся в энергонезависимой памяти системы управления роботом, доступ к которым осуществляется при помощи пульта ручного управления (ПРУ), а также при помощи персонального компьютера, посредством специализированного программного обеспечения через последовательный канал информационного обмена (RS232 или Ethernet). ПРУ может быть использован как средство информационного обмена между «человеком и машиной», но при этом существуют такие функциональные ограничения:

- 1) информационный обмен может быть реализован только на английском или японском языке;

2) ограниченный форматированный ввод/вывод информации;

3) ограничение многопользовательского оконного интерфейса по количеству создаваемых окон.

Для решения ограниченного круга задач данные функциональные возможности системы управления робота и пульта ручного управления являются достаточными, однако, для удовлетворения необходимых функциональных требований, предъявляемых к АСУ роботизированным комплексом на современном предприятии, представленных выше, необходимо их расширение:

1) поддержка языков программирования для промышленного оборудования, таких как LD (лестничные диаграммы) и ST (синтаксис языка схож с Pascal) [3], для управления элементами комплекса и создания математического обеспечения соответственно, а также при наладочных работах с целью обеспечения мониторинга работы программного обеспечения в режиме реального времени. Альтернативный метод разработки программного обеспечения для промышленных контроллеров рассмотрен в статье [4];

2) наличие аппаратных (Ethernet, RS485, RS232 и CAN) и программных возможностей (протоколы Modbus, TCP/IP и другие) для обеспечения информационного обмена с различными типами датчиков, периферийным оборудованием и АСУТП предприятия;

3) программное обеспечение для работы с сканером «штрих-кода» и обработкой полученных данных;

4) человекомашиный интерфейс, обеспечивающий информационный обмен данными с АСУ на русском языке и имеющий многопользовательский оконный интерфейс.

Требуемые функциональные возможности предложено решить следующим образом: математическое обеспечение, функции контроля и управления комплексом в целом возложить на промышленный контроллер, при этом функцию управления движением манипулятора обеспечить системой управления робота-манипулятора, при этом

расчет координат точек, образующих траекторию перемещения манипулятора, реализовать на основе созданного математического обеспечения для промышленного контроллера, далее который передает полученные данные в СУ робота и выдает команду на начало движения. Функция контроля состояния робота также осуществляется ресурсами промышленного контроллера. Аналогичный метод управления роботом рассмотрен в [5].

Человекомашиный интерфейс, удовлетворяющий всем необходимым требованиям, предложено реализовать на базе панели оператора для промышленного применения, дизайн и алгоритм работы которого приведен в [6].

На основе вышеизложенного разработана функциональная схема автоматизированной системы управления роботизированного комплекса, представленная на рис. 2, удовлетворяющая всем функциональным требованиям, предъявляемым к ней.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

С целью проверки результатов диссертационного исследования была создана и изготовлена экспериментальная автоматизированная система управления, представленная на рис. 3, роботизированным комплексом на основе представленной функциональной схемы, включающая в себя следующий состав оборудования:

- промышленный робот-манипулятор Kawasaki FS20N [7];
- оборудование плазменной резки Kjjelberg HiFocus 360+ [8];
- поворотный стол Weiss TC700T;
- лазерные измерительные датчики ZX-LD100 (в составе измерительной установки) [9];
- сервоприводы Omron (в составе измерительной установки) [10].

Разработано программное обеспечение для управления комплексом в целом на языке LD, на языке ST реализованы математические модели для обработки первичных данных.



Рис. 2. Функциональная схема автоматизированной системы управления роботизированным комплексом

Данный роботизированный комплекс был использован для проведения экспериментальных исследований, при этом были получены и обработаны все данные для диссертационного исследования, которые были запланированы:

- резка образцов пружинной стали, которые представляют собой прутки диаметром 25 мм, длиной 400 мм;
- резка образцов при заданных параметрах процесса плазменной резки, опреде-

ленных матрицей экспериментального исследования.

После проведения экспериментальных исследований в 2017 г., на базе данного роботизированного комплекса под управлением экспериментальной автоматизированной системы управления, реализована технологическая операция – «Обработка торцов пружин», успешная эксплуатация которой ведется по настоящее время.

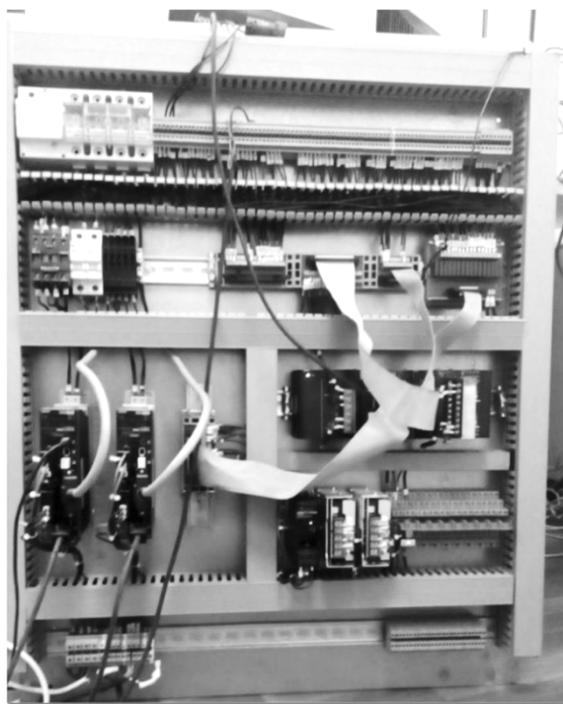


Рис. 3. Экспериментальная система управления роботизированным комплексом

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были представлены результаты работ по созданию и экспериментальному исследованию автоматизированной системы управления роботизированного комплекса, обеспечивающего технологическую операцию в составе процесса производства пружин – обработка торцов пружин методом плазменной резки.

Сформированы и обоснованы требования к автоматизированной системе управления роботизированным комплексом, реализующую процесс обработки с учетом размеров каждой пружины, удовлетворяющие условиям эксплуатации на современном предприятии по изготовлению пружин.

Проведено обоснование по выбору языков программирования в условиях промышленного применения, что позволяет сократить время на разработку программного обеспечения и исключить возможные ошибки при этом, а также в процессе наладочных работ вести визуальный мониторинг работы управляющей программы в режиме реального времени, что также сокращает время на их проведение.

Разработана функциональная схема автоматизированной системы управления роботизированным комплексом,

обеспечивающая все необходимые аппаратно-программные возможности в обеспечении функциональных требований к его управлению, и элементами, входящими в состав, в том числе обеспечивает работу с человеко-машинным интерфейсом, а также информационный обмен данными с системами верхнего уровня.

Представлена изготовленная на основе разработанной функциональной схемы автоматизированная система управления роботизированным комплексом на базе промышленного контроллера Omron, серии CJ1 в составе с функциональными модулями расширения и другим оборудованием, которая была использована при проведении экспериментальных исследований, после которых в 2017 г., на базе данного роботизированного комплекса под управлением экспериментальной автоматизированной системы управления создана технологическая операция – «Обработка торцов пружин», успешная эксплуатация которой ведется по настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаврин О. И., Редькин Л. М., Игнатьев В. В. Высокотемпературная термомеханическая обработка пружин // Производственно-технический бюллетень (ПТБ). 1974. № 11. С. 15–17. [О. I. Shavrin, L. M. Redkin,

V. V. Ignatiev, "High temperature thermomechanical treatment of springs", (in Russian), in *Proizvodstvenno-tekhnicheskij byulleten' (PTB)*, no. 11, pp. 15-17, 1974.]

2. **Kawasaki** robot controller D-series. AS Language reference manual. Kawasaki Heavy Industries, Ltd, 2002. 90209-1017DEB.

3. **Зюбин В. Е.** Программирование ПЛК: языки МЭК 61131-3 и возможные альтернативы // Промышленные АСУ и контроллеры. 2005. № 11. С. 31–35. [V. E. Zyubin, "PLC Programming: IEC 61131-3 languages and possible alternatives", (in Russian), in *Promyshlennye ASU i kontrolyery*, no. 11, pp. 31-35, 2005.]

4. **Чикуров Н. Г., Мокин В. А.** Микропрограммные дискретно-логические системы управления // Молодежный Вестник УГАТУ. 2018. №: 1 (18). С. 172–178. [N. G. Chikurov, V. A. Mokin, Microprogram discrete logic control system (in Russian), in *Molodezhnyj Vestnik UGATU*, no. 1 (18), pp. 172-178, 2018.]

5. **Zeng L.** Control of Industrial Robots for Meat Processing Applications [Электронный ресурс]. URL: <http://www.araa.asn.au/acra/acra2003/papers/12.pdf> (дата обращения 07.11.2018).

6. **Турьгин Ю. В., Нистюк А. И., Платов С. А.** Разработка человеко-машинного интерфейса на базе рабочего места оператора роботизированного комплекса // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2018. Т. 21, № 4. С. 43–50. [Yu. V. Turygin, A. I. Nistyuk, S. A. Platov, "Development of the human-machine interface on the basis of the workplace of the operator of the robotic complex", (in Russia), in *Vestnik IzhGTU im. M. T. Kalashnikova. Izhevsk: Izd-vo IzhGTU*, vol. 21, no. 4, pp. 43-50, 2018.]

7. **Kawasaki** robot controller D-series. Host communication. Kawasaki Heavy Industries, Ltd, 2003. 90210-1177DEA.

8. **Cutting** data manual. Kjellberg Finsterwalde Plasma und Maschinen GmbH, 2010. 11.034.402.KBA.

9. **Laser** Displacement Sensors CMOS Type ZX2 Series. User's manual. Tokyo: Omron Corporation, 2010. Cat. No. Z310-E1-02.

10. **User** manual. AC servomotors/servo drives. Omron Electronics LLC, 2009. Cat. No. I571-E1-04.

ОБ АВТОРАХ

ТУРЫГИН Юрий Васильевич, профессор кафедры Мехатронные системы ИжГТУ им. М. Т. Калашникова.

ПЛАТОВ Сергей Александрович, аспирант кафедры Мехатронные системы ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. Диплом «Инженер-конструктор РЭА и МП» (ИжГТУ, 1992). Готовит диссертацию о Повышении эффективности роботизированного комплекса обработки торцов пружин методом плазменной резки.

METADATA

Title: Improvement of robotic cell control system by means of industrial controller.

Authors: Y. V. Turygin¹, S. A. Platov²

Affiliation:

¹ Kalashnikov Izhevsk State Technical University.

² LLC NPC Springs.

Email: ¹turygin@istu.ru, ²serge.platov@gmail.com

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 23, no. 3 (85), pp. 122-128, 2019. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: Industrial controller-based automated control system solution is proposed to be used for operation within the robotic cell composed of industrial robotic arm and dedicated process equipment. This solution controls robotic cell as a whole and its components particularly. Example of hardware and software support is provided. Proposed method of automated control system integration into plant's APCS has been developed. Robotic cell software programming languages recommended to be used with industrial equipment have been studied. Flowchart of Industrial controller-based automated control system of robotic cell is provided, including practical implementation example.

Key words: programmable logic controller, robotic cell, automated control system, plasma cutting.

About authors:

TURYGIN, Yuriy Vasilevich, Doctor of Science in Engineering, professor.

PLATOV, Sergey Aleksandrovich, Postgraduate student of the faculty of "Mechatronic system", diploma in Electronics Engineering (ISTU, 1992). Is preparing thesis research on performance improvement of robotic cell for spring end plasma cutting.