

М. В. Бобырь, д-р техн. наук, проф., fregat_mn@rambler.ru,
А. А. Дородных, аспирант, А. С. Якушев, аспирант,
Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Устройство и программная модель управления пневматическим мехатронным комплексом¹

Рассматривается пневматический мехатронный комплекс (ПМК), управление которым осуществляется с помощью интерактивной сенсорной панели человеком-оператором. Представлена пневмоэлектрическая схема соединения компонентов мехатронного комплекса. Пневматический мехатронный комплекс состоит из электрических, электронных, пневматических, пневмоэлектрических компонентов и программного обеспечения. Построена функциональная карта технологического процесса фиксации парящего объекта, перемещения и складирования в лоток хранения, которая включает 13 шагов. Для управления ПМК используется программируемый логический контроллер (ПЛК) Siemens S7-1200 и сенсорная панель Siemens HMI KTP 400 Basic. Взаимосвязь компонентов ПМК осуществляется за счет построения промышленной сети связи. Реализуется промышленная сеть с помощью интерфейса Ethernet. Ethernet-коммутатор Siemens Scalance XB05 объединяет в общую сеть ПЛК, сенсорную панель и персональный компьютер. Для каждого устройства задается IP-адрес и маска подсети. Для реализации этапов технологического процесса разработан экспериментальный вид экрана оператора. На сенсорной панели отображаются кнопки для того, чтобы человек-оператор мог управлять ПМК в ручном режиме. Программное управление ПМК реализовано в среде TiaPortal v.14 с использованием языка программирования LAD (Ladder Diagram). В статье показаны и описаны части программного кода, которые реализуют: движение вверх/вниз по бесштоковому цилиндру каретки со схватом; втягивание и выдвигание цилиндра со схватом; открытие и закрытие схвата; подачу и отключение воздуха в сопло; выдвигание цилиндра подачи объектов в зону действия струи воздуха. Проведен эксперимент с выявлением времени выполнения операций технологического процесса фиксации парящего объекта, перемещения и складирования его в лоток хранения. Фиксация времени выполнения происходила отдельно для каждого этапа и для полного цикла от стартового положения до возврата объекта в лоток хранения. Сумма времени выполнения отдельных операций составила примерно 17 с. Полный цикл человек-оператор может выполнить за 22 с.

Ключевые слова: программируемый логический контроллер (ПЛК), интерактивная сенсорная панель, пневматический мехатронный комплекс (ПМК), фиксация парящего объекта, функциональная карта

Введение

Автоматизированные и автоматические промышленные линии широко внедряются в промышленность и применяются для выполнения различных технологических процессов (ТП): фасовки [1], сборки [2], сортировки [3]. Для реализации и управления данными ТП используются промышленные ПЛК. Их задачей является сбор информации о ходе ТП с помощью различных датчиков и выдача управляющих сигналов на исполнительные механизмы, которые могут быть электрическими, пневматическими, гидравлическими, механическими. Для связи между собой всех компонентов используется промышленная сеть с различными интерфейсами связи. В общем виде устройства подключаются к коммутатору посредством интерфейса Ethernet.

В промышленных конвейерах одна из основных задач — это обнаружение и перемещение объекта, например, в зону складирования. Данные операции могут выполняться автоматически или человеком-оператором в ручном режиме.

В данной работе рассматривается управление ПМК для фиксации парящего в воздухе объекта и перемещения его в лоток хранения объектов.

Структура пневматического мехатронного комплекса

ПМК с интерактивной сенсорной панелью предназначен для обнаружения, удержания и перемещения объекта. В структуру ПМК входят: пневматические, пневмоэлектрические, электрические и электронные компоненты и программное обеспечение.

К пневматическим компонентам относятся: малошумный компрессор, фильтр-регулятор с манометром на входе комплекса, бесштоковый цилиндр (БЦ), два штоковых цилиндра (ШЦ), сопло с дросселем регулировки струи воздуха, пневматический схват, фитинги для подключения шлангов, два манометра и фильтр-регулятор на компрессоре.

Пневмоэлектрические компоненты комплекса состоят из пневмоострова (набора электропневматических распределителей, объединенных в общем корпусе).

Электрические компоненты включают: блок питания постоянного напряжения 24 В, соединительные провода, клеммную колодку.

¹ Статья подготовлена при поддержке гранта Президента РФ МД-707.2017.8 и Госзадания: Соглашение № 2.3440.2017/4.6.

Электронные компоненты: ПЛК *Siemens S7-1200*, *Ethernet*-коммутатор *Siemens Scalance XB05*, интерактивная сенсорная панель *Siemens HMI KTP 400 Basic*, персональный компьютер [4, 5].

Программное обеспечение включает среду разработки *Tia portal v.14* и язык программирования *LAD*.

На рис. 1 (см. третью сторону обложки) представлен внешний вид ПМК для фиксации парящего в воздухе объекта.

На рис. 2 (см. третью сторону обложки) представлена пневмоэлектрическая схема соединения компонентов ПМК.

Управление процессами ПМК осуществляется промышленным ПЛК фирмы *Siemens* из семейства *S7-1200*, оснащенный центральным процессорным устройством (ЦПУ) модели 1214C [6—8].

Сетевая настройка устройств для подключения мехатронного комплекса

Для программирования, управления и взаимосвязи ПЛК, сенсорной панели и ПК все элементы ПМК объединяются в промышленную сеть. К *Ethernet*-коммутатору *Siemens Scalance XB05* подключены: ПК, ПЛК *Siemens S7-1200*, панель оператора *KTP-400 Basic*. Виртуальную коммуникацию устройств осуществляют в программной среде *TIA Portal V14*. Для установления сетевой связи между ПЛК и интерактивной сенсорной панелью используется раздел редактора и настройки сетей "*Devices & network*" (рис. 3).

При конфигурации промышленной сети необходимо назначить *IP*-адреса всем устройствам (см. таблицу).

Функциональная карта процесса управления в режиме оператора

Технологический процесс фиксации парящего в воздухе объекта представлен на рис. 4 в виде функциональной карты [9]. В функциональной карте в блоке действий сначала прописывается исполнительный механизм (см. рис. 1, 2), к которому обращается оператор, а затем указывается действие, которое необходимо выполнить с этим механизмом.

Необходимо учитывать, что функциональная карта ТП ПМК (рис. 4) носит экспериментальный характер. Для достижения поставленной цели может использоваться последовательность действий, отличная от представленных на рис. 4, так как оператор может изменить порядок промежуточных операций, но при этом

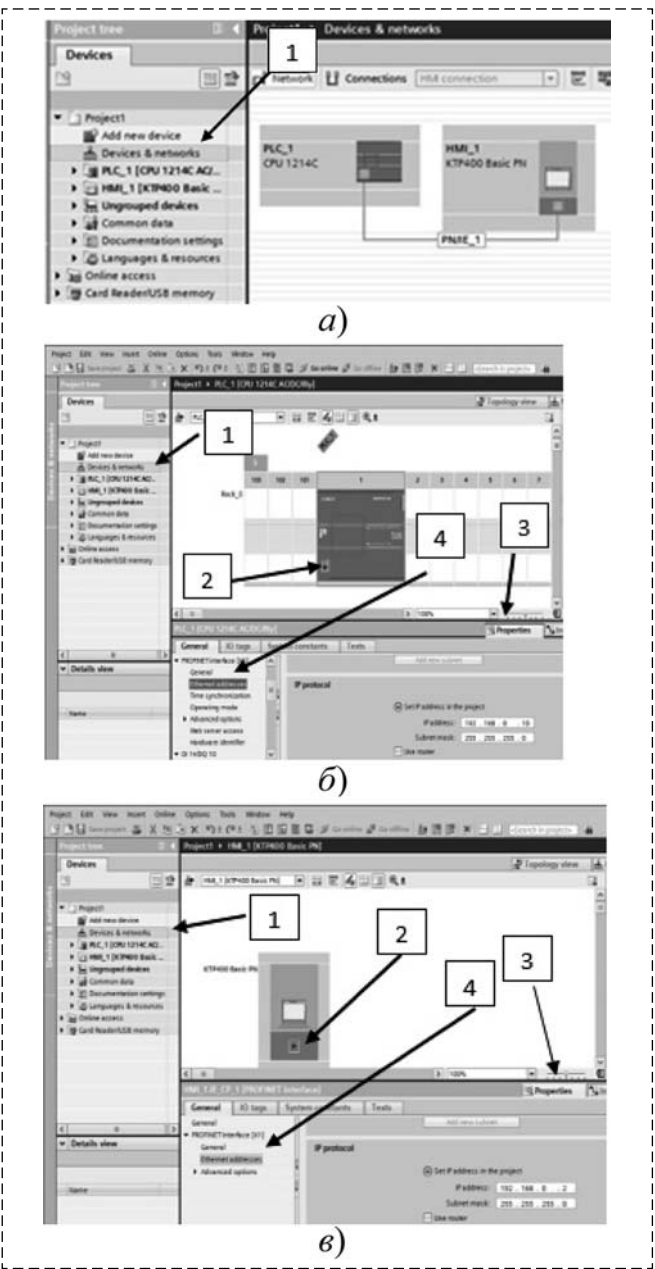


Рис. 3. Конфигурирование промышленной сети: а — установление связей между ПЛК и сенсорной панелью; б — конфигурирование ПЛК; в — конфигурирование сенсорной панели; 1 — рабочая область "Devices & networks"; 2 — графическое обозначение Ethernet-соединения; 3 — закладка "Свойства"; 4 — область назначения IP-адреса

Параметры промышленной Ethernet-сети

	ПЛК	Сенсорная панель	ПК
IP-адрес	192.168.0.10	IP:192.168.0.2	192.168.0.1
Маска подсети	255.255.255.0	255.255.255.0	255.255.255.0

достигнуть конечного и правильного результата, например, включить подачу воздуха в сопло и не отключать ее до конца выполнения всех операций.

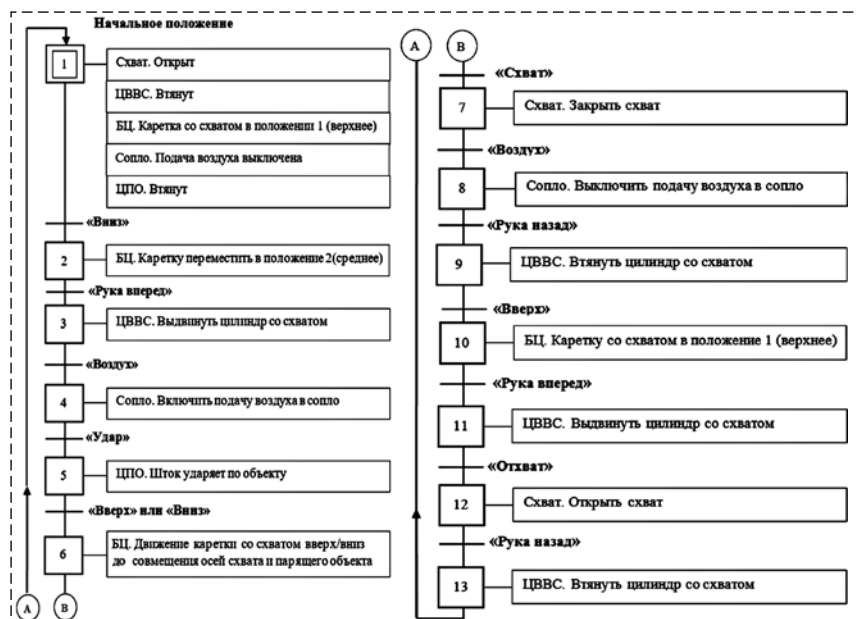


Рис. 4. Функциональная карта технологического процесса фиксации парящего объекта

Программный код для управления пневматическим мехатронным комплексом в режиме оператора

Программирование ПЛК [10] и панели оператора происходит в среде *Tia Portal V14*. Управление ПМК в режиме оператора осуществляется с помощью интерактивной сенсорной панели, на которой располагаются кнопки для управления элементами системы. На рис. 5 представлен экспериментальный вид экрана оператора с минимальным набором кнопок, который может меняться в зависимости от выполняемых задач.

Кнопки на экране оператора имеют названия, совпадающие с командами-действиями функциональной карты (см. рис. 4).

На рис. 5 располагаются виртуальные кнопки: "вверх/вниз" — для перемещения каретки со схватом вверх/вниз по БЦ; "рука вперед/

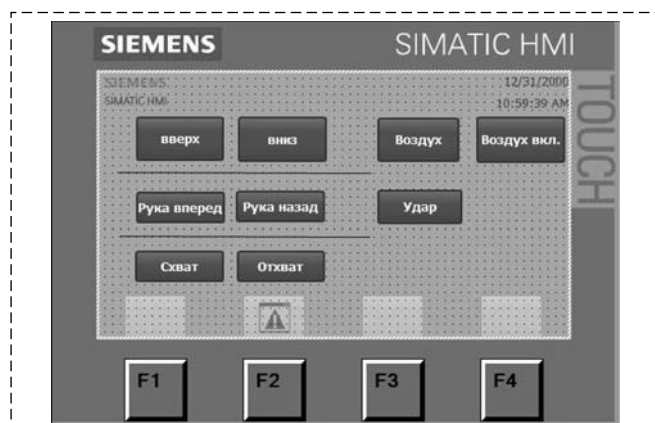


Рис. 5. Экспериментальный экран рабочего окна оператора

рука назад" — для выдвижения и втягивания штока цилиндра выдвижения и втягивания схвата (ЦВВС); "схват/отхват" — кнопки закрытия и открытия схвата (фиксация и отпускание объекта); "воздух вкл./воздух" — включение и отключение подачи воздуха в сопло; "удар" — шток ЦПО ударяет по объекту и перемещает его зону действия струи воздуха.

При создании программной модели управления ПМК авто-рами написаны маркеры-идентификаторы (рис. 6) или логические переменные процесса, содержащие имя, тип данных и адрес для получения доступа к информации в ячейке памяти.

После создания таблицы переменных для ПЛК и интерактивной сенсорной панели необходимо ре-

ализовать программный код управления ПМК в режиме оператора, в котором применяются три основных вида переменных: *I* — входы ПЛК, *Q* — выходы ПЛК; *M* — виртуальные переменные.

ТП фиксации парящего объекта включает 12 шагов без выставления начального положения ПМК.

Шаг 1. Движение каретки вниз по БЦ.

Каретка со схватом, закрепленная на БЦ из положения 1 (верхнего) должна переместиться в положение 2 (среднее). Для этого на сенсорной панели нужно нажать кнопку "Вниз" [12].

При нажатии на сенсорной панели кнопки "Вниз", которой присвоена виртуальная переменная ($\%M0.1$ "arm_down") происходит замыкание нормально-разомкнутого контакта (НРК) на реальный цифровой выход ПЛК $\%Q0.5$, и передается логическая "1", представленная в виде 24В, на катушку БЦ для движения вниз. Как только каретка достигает положения 2 (среднего), на БЦ оператор отпускает кнопку на сенсорной панели и прекращается подача напряжения на катушку БЦ.

Шаг 2. Выдвижение ЦВВС.

После движения каретки до положения 2 (среднего) происходит выдвижение схвата по нажатию на сенсорной панели кнопки "Рука вперед".

Для выдвижения схвата оператор нажимает кнопку "Рука вперед", тем самым замыкая НРК и подавая логическую "1" на выход ПЛК $\%Q0.0$, приводя в действие катушку ЦВВС.

Шаг 3. Подача воздуха в сопло.

На шаге 3 включается воздух, подаваемый в сопло через дроссель. Дроссель необходим

а)

б)

Рис. 6. Логические переменные (tags):

а — переменные для ПЛК; б — переменные для сенсорной панели

для регулирования высоты подъема объекта в воздухе.

%Q0.2 — адрес реального выхода ПЛК, к которому подключена катушка ЦПО.

Шаг 5. Позиционирование схвата относительно парящего объекта.

На шагах 1—4 реализован приблизительный подвод каретки со схватом к объекту, объект подан в струю воздуха и парит. Далее необходимо более точно провести позиционирование [13, 14]. Для этого необходимо добавить к команде движения каретки "Вниз" команду движения "Вверх".

%Q0.4 — адрес реального выхода ПЛК, к которому подключена катушка для движения каретки вверх на БЦ. Выходы ПЛК %Q0.4 и %Q0.5, к которым подключены катушки БЦ, управляют движением каретки вверх и вниз.

Шаг 6. Фиксация объекта.

После того как схват сориентирован относительно парящего объекта, его необходимо поймать схватом [15—17]. Для этого в программе реализуется операция закрытия схвата с удержанием объекта.

Шаг 7. Выключение подачи воздуха в сопло.

Когда объект пойман схватом, отключается подача воздуха в сопло. Это операция, обрат-

ная включению подачи воздуха. Для ее выполнения необходимо в программе поменять тип катушки с "Set" на "Reset" и на сенсорной панели нажать кнопку "Воздух".

Шаг 8. Втягивание цилиндра со схватом и удержание объекта схватом.

Для того чтобы при подъеме каретки со схватом не происходили удары о лоток хранения и желоб, нужно втянуть цилиндр, на котором закреплен схват. Этот процесс, обратный процессу, описанному на шаге 2.

Шаг 9. Движение вверх.

Выполнив шаг 8, нужно переместить вверх схват, удерживающий объект. Функция движения каретки вверх реализована на шаге 5.

Шаг 10. Выдвижение ЦВВС.

Шаг 10 идентичен шагу 2. Отличие состоит в том, что на шаге 10 схват удерживает объект, а на шаге 2 схват открыт.

Шаг 11. Открытие схвата и возвращение объекта в лоток хранения.

После выдвижения цилиндра со схватом вперед последним шагом является открытие схвата и возврат объекта в лоток хранения. Для этого оператор нажимает кнопку "Отхват", и происходит раскрытие схвата.

После открытия схвата объект падает в желоб и далее скатывается в лоток хранения.

Шаг 12. Втягивание ЦВВС.

Вернув объект в лоток хранения, человек-оператор нажимает кнопку "Рука назад", и ЦВВС втягивается, после чего цикл считается законченным.

Эксперимент

Эксперимент строится на проверке работоспособности программного кода и правильности подключения компонентов ПМК. В процессе эксперимента оператор выполняет последовательно этапы технологического процесса фиксации парящего объекта с последующим возвратом объекта в лоток хранения согласно функциональной карте [15, 16].

При проведении эксперимента было выполнено 11 операций и зафиксировано время выполнения каждой операции по отдельности:

1) движение вниз каретки из точки старта (каретка на БЦ находится в положении 1 и перемещается в положение 2); время выполнения операции 3,76 с;

2) выдвижение схвата; время выполнения операции 0,59 с;

3) включение струи воздуха; время выполнения операции 0,42 с;

4) подача объекта в поток воздуха из сопла; время выполнения операции 1,12 с;

5) позиционирование схвата; время выполнения операции 3,43 с;

6) схват и удержание объекта; время выполнения операции 0,63 с;

7) выключение подачи воздуха в сопло; время выполнения операции 0,35 с;

8) втягивание схвата; время выполнения операции 0,83 с;

9) движение каретки по БЦ в положение 1; время выполнения операции 4,60 с;

10) выдвижение схвата с удержанием объекта схватом; время выполнения операции 0,41 с;

11) открытие схвата и опускание объекта в лоток хранения; время выполнения операции 0,90 с.

Суммарное время выполнения отдельных операций 17,04 с. Время выполнения цикла составляет примерно 22 с.

Заключение

В данной статье рассмотрен ПМК для фиксации парящего объекта и его перемещения, а также его структура и компоненты. Технологи-

ческие операции выполняются согласно построенной функциональной карте. Представлен и описан программный код управления данным комплексом

Список литературы

1. **Каляев И. А., Каяев А. И., Коровин Я. С.** Принципы организации и функционирования безлюдного роботизированного производства с децентрализованным диспетчером // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. № 11. С. 741—749.
2. **Бабаян П. В., Гаврилов А. Н.** Использование систем технического зрения при автоматизации производства герконов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 6. С. 15—19.
3. **Лошицкий П. А., Шеховцова Е. Е.** Расчет и моделирование работы промышленного манипулятора на силовых оболочковых элементах // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. № 7. С. 470—475.
4. **Patel J., Patel A., Singh R.** Development of PLC based process loop control for bottle washer machine // Procedia Technology. 2014. N. 14. P. 365—371.
5. **Aydin G., Ozan A., Hilmi K.** Remote Remote access for education and control of mechatronics systems // Procedia-Social and Behavioral sciences. 2015. N. 176. P. 1050—1055.
6. **Программируемые контроллеры S7-1200** [электронный ресурс] / Системы автоматизации и автоматика // Internet-https://www.saa.su/Document/PLC/Simatic/cpu_S7-1200_2013.pdf.
7. **Hacksteiner M., Duer F., Ayatollahi I., Bleicher F.** Automatic assessment of machine tool energy efficiency and productivity // Procedia CIRP. 2017. N. 62. P. 317—322.
8. **Альтерман И. З.** Программируемые контроллеры Simatic S7: 2-й уровень профессиональной подготовки: Учебник (раздаточный материал): Промышленная автоматизация, 2011. 66 с.
9. **Олсон Г., Пиани Д.** Цифровые системы автоматизации и управления. СПб.: Невский диалект, 2001. 557 с.
10. **Бергер Г.** Автоматизация с помощью программ Step7 LAD и FBD // Программируемые контроллеры Simatic S7-300/S7-400. Siemens, 2001. 605 с.
11. **Программируемый контроллер S7-1200 системное руководство** // Siemens, Германия, 2009. 398 с.
12. **Альтерман И. З.** Программирование панелей оператора Simatic // Учебный центр "Симатик", 2014. 78 с.
13. **Бобырь М. В., Кулабухов С. А., Якушев А. С.** Автоматическая система охлаждения режущего инструмента в задаче управления оборудованием с ЧПУ. Часть I // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. Т. 18. № 7. С. 558—563.
14. **Бобырь М. В., Кулабухов С. А., Якушев А. С.** Нечеткая иерархическая система угловой ориентации мобильного робота. Часть I // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. Т. 17. № 7. С. 458—464.
15. **Bobyry M. V., Milostnaya N. A., Kulabuhov S. A.** A method of defuzzification based on the approach of areas' ratio // Applied Soft Computing Journal. 2017.59, pp. 19—32. DOI: 10.1016/j.asoc.2017.05.040.
16. **Bobyry M. V., Milostnaya N. A.** Analysis of the use of soft arithmetic operations in the structure of fuzzy logic inference, Вестник компьютерных и информационных технологий, 133 (2015) 7—15. doi: 10.14489/VKIT.2015.07. PP. 007—015.
17. **Бобырь М. В., Кулабухов С. А., Милостная Н. А.** Обучение нейронечеткой системы на основе метода разности площадей // Искусственный интеллект и принятие решений. 2016. № 4. С. 15—26.

Device and Program Model of Pneumatic Mechatronic Complex Control

M. V. Bobyr, fregat_mn@rambler.ru, A. A. Dorodnykh, alex.dorodnych@mail.ru, ,
A. S. Yakushev, alekseyakushev@yandex.ru,
South-West State University, 305040, Kursk, Russian Federation

Corresponding author: **Bobyr Maksim V.**, D.Sc., Prof.,
South-West State University, Kursk, 305040, Russian Federation,
fregat_mn@rambler.ru

Accepted on June 05, 2018

The article deals with the pneumatic mechatronic complex (PMC), which is controlled by an interactive touch panel by a human operator. A pneumo-electric circuit for connecting components of the mechatronic complex is presented. The pneumatic mechatronic complex consists of electrical, electronic, pneumatic, pneumo-electric components and software. A functional map of the technological process of fixing a floating object, moving and storing in a storage tray, which includes 13 steps, is constructed. To control the PMC, a programmable logic controller (PLC) Siemens S7-1200 and a touch panel Siemens HMI KTP 400 Basic are used. The interconnection of PMK components is carried out through the construction of an industrial communication network. The industrial network is implemented using the Ethernet interface. The Ethernet switch Siemens Scalance XB05 combines a PLC, a touch panel and a personal computer into a common network. For each device, you specify the IP address and subnet mask. To implement the stages of the technological process, an experimental view of the operator's screen was developed. On the touch panel, buttons are displayed so that the human operator can control the PMC in manual mode. Program control PMC is implemented in the Tiaportal v.14 environment using the LAD programming language (Ladder Diagram). The article shows and describes parts of the code that implement: moving up / down the rodless cylinder of the carriage with the grip; retraction and extension of the cylinder with grasping; opening and closing of the grasp; supply and deactivation of air in the nozzle; extension of the cylinder supplying objects to the zone of action of the air stream. An experiment was conducted to reveal the time for performing operations of the technological process of fixing the floating object, moving and storing it in the storage tray. The commit of the execution time occurred separately for each stage and for the complete cycle from the start position to the return of the object to the storage tray. The amount of time for performing individual operations was approximately 17 seconds. The complete cycle man-operator can perform in 22 seconds.

Keywords: programmable logic controller (PLC), interactive sensor-based panel, pneumatic mechatronic complex (PMC), fixation of a floating object, functional map

Acknowledgements: This article was executed with support of grant of President RF MD-707.2017.8 and state assignment: Agreement № 2.3440.2017/4.6.

For citation:

Bobyr M. V., Dorodnykh A. A., Yakushev A. S. Device and Program Model of Pneumatic Mechatronic Complex Control, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2018, vol. 19, no. 9, pp. 612–617.

DOI: 10.17587/mau.19.612-617

References

1. Kalyaev I. A., Kayaev A. I., Korovin Ya. S. *Principy organizatsii i funktsionirovaniya bezlyudnogo robotizirovannogo proizvodstva s decentralizovannym dispetcherom*, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, no. 11, pp. 741–749 (in Russian).
2. Babayan P. V., Gavrilov A. N. *Ispol'zovanie sistem tekhnicheskogo zreniya pri avtomatizatsii proizvodstva gerkonov*, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2011, no. 6, pp. 15–19 (in Russian).
3. Loshickij P. A., Shekhovcova E. E. *Raschet i modelirovanie raboty pro-myshlennogo manipulyatora na silovykh obolochkovykh ehlementah*, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, no. 7, pp. 470–475 (in Russian).
4. Patel J., Patel A., Singh R. Development of PLC based process loop control for bottle washer machine, *Procedia Technology*, 2014, no. 14, pp. 365–371.
5. Aydin G., Ozan A., Hilmi K. Remote Remote access for education and control of mechatronics systems, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2015, no. 176, pp. 1050–1055.
6. *Programmiruemye kontroliery S7-1200, Sistemy Avtomatizatsii i Avtomatika*, available at: https://www.saa.su/Document/PLC/Simatic/cpu_S7-1200_2013.pdf.
7. Hacksteiner M., Duer F., Ayatollahi I., Bleicher F. Automatic assessment of machine tool energy efficiency and productivity, *Procedia CIRP*, 2017, no. 62, pp. 317–322.
8. Al'terman I. Z. *Programmiruemye kontroliery Simatic S7-2-j uroven' professional'noj podgotovki*, *Promyshlennaya avtomatizatsiya*, 2011, 66 p. (in Russian).
9. Olson G., Piani D. *Cifrovye sistemy avtomatizatsii i upravleniya*, SPb., Nevskij dialekt, 2001, 557 p. (in Russian).
10. Berger G. *Avtomatizatsiya s pomoshch'yu programm Step7 LAD i FBD*, *Programmiruemye kontroliery Simatic S7-300/S7-400*, Siemens, 2001, 605 p. (in Russian).
11. *Programmiruemyj kontroller S7-1200 sistemnoe rukovodstvo*, Siemens, Germaniya, 2009, 398 p.
12. Al'terman I. Z. *Programmirovaniye panelej operatora Simatic*, Uchebnyj centr "Simatik", 2014, 78 p. (in Russian).
13. Bobyr M. V., Kulabuhov S. A., Yakushev A. S. *Avtonomnaya sistema ohla-zhdeniya rezhushchego instrumenta v zadache upravleniya oborudovaniem s CHPU*, *CHast' I, Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2017, vol. 18, no. 7, pp. 558–563 (in Russian).
14. Bobyr M. V., Kulabuhov S. A., Yakushev A. S. *Nechetkaya ierarhicheskaya sistema uglovoj orientatsii mobil'nogo robota*, *CHast' I, Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 7, pp. 458–464 (in Russian).
15. Bobyr M. V., Milostnaya N. A., Kulabuhov S. A. A method of defuzzification based on the approach of areas' ratio, *Applied Soft Computing Journal*, 2017, vol. 59, pp. 19–32, DOI: 10.1016/j.asoc.2017.05.040 (in Russian).
16. Bobyr M. V., Milostnaya N. A., Analysis of the use of soft arithmetic operations in the structure of fuzzy logic inference, *Vestnik Komp'yuternykh i Informatsionnykh Tekhnologii*, 133 (2015), pp. 7–15, doi: 10.14489/VKIT.2015.07.PP.007-015.
17. Bobyr M. V., Kulabuhov S. A., Milostnaya N. A. Obucheniye nejro-nechetkoj sistemy na osnove metoda raznosti ploshchadej, *Iskusstvennyj Intellekt i Prinyatie Reshenij*, 2016, no. 4, pp. 15–26 (in Russian).