

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 621.86/.87

**ЮСУПОВ РАМАЗАН ХАБИБРАХМАНОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: jusupow@mail.ru

**АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ**, канд. техн. наук, доцент

E-mail: asa-finance@yandex.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПОШТУЧНОЙ ПОДАЧИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

Задача поштучной подачи и автоматического адресования материальных объектов по кратчайшему пути встречается при разработке оборудования для систем автоматизированного конвейерного производства, для роботизированной классификации и сортировки сельскохозяйственного сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Для решения этой задачи в большинстве случаев используются элементы оптоэлектроники, вычислительная техника и механические исполнительные механизмы. В целях упрощения и удешевления технических средств предложены две простые конструкции манипуляторов, обеспечивающих поштучную подачу сортируемых объектов и их перемещение в пространстве по кратчайшему пути. Первая конструкция содержит бункер-питатель, корпус, транспортер (выполненный в виде барабанов), механизм изменения угла наклона барабанов, приемный бункер и шарнирную опору. Барабаны установлены с возможностью встречного вращения на лежащих в одной плоскости и параллельных друг другу осях. Межбарабанное пространство образует заборно-подающую канавку по всей длине транспортера. Так как барабаны установлены под углом (от 1 до 60 градусов) к горизонту, то под действием силы тяжести объекты начинают двигаться вдоль барабанов, распределяясь продольно по длине межбарабанного пространства с увеличивающимся интервалом. Соскальзывание объектов осуществляется с установленной периодичностью, определяемой углом наклона барабанов и частотой их вращения. Вторая конструкция представляет собой релейно-контактную схему управления, содержащую реле направленного перемещения, адресный задатчик в виде набора коммутационных элементов с фиксированной защелкой и датчик положения. В процессе адресования размещение объекта, сопровождающееся соответствующим переключением реле и формированием команды, определяющей дальнейшее движение по кратчайшему пути, фиксируется датчиком положения. Логика работы схемы управления реализуется посредством переключения реле и устанавливается оператором в зависимости от цели и особенностей адресования объектов. Манипулятор может быть использован в роботизированных системах сортировки картофеля, томатов и сахарной свеклы, а также для управления перемещением конвейерных или цепных стеллажей и поворачивающихся барабанов.

**Ключевые слова:** сортировка продуктов, робототехника, манипулятор, подача объектов, адресование по кратчайшему пути.

**Введение.** Важное место в составе роботизированных сортировальных систем занимают устройства, осуществляющие механическое воздействие на материальные объекты. Эти устройства, обычно называемые манипуляторами, должны удовлетворять весьма высоким требованиям к точности и быстродействию, не оказывать влияния на форму и содержание сортируемых объектов и одновременно оставаться достаточно дешевыми и простыми.

**Цель работы** – создание электромеханических манипуляторов, обеспечивающих поштучную подачу сортируемых объектов и их перемещение в пространстве по кратчайшему пути.

**Материал и методы.** В качестве материалов, подаваемых манипуляторами, использованы сельскохозяйственные продукты: клубни картофеля и семена сельскохозяйственных растений. В процессе разработки роботизированных манипулято-

ров применялись методы алгебры логики и классические приемы синтеза релейно-контактных схем.

**Результаты и обсуждение.** С задачей поштучной подачи материальных объектов мы сталкиваемся при разработке оборудования для систем автоматизированного конвейерного производства, для роботизированной классификации и сортировки сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Процесс поштучной подачи сводится к распознаванию в массе объектов отдельных экземпляров, их механическому выделению и дальнейшему перемещению в требуемое место [1].

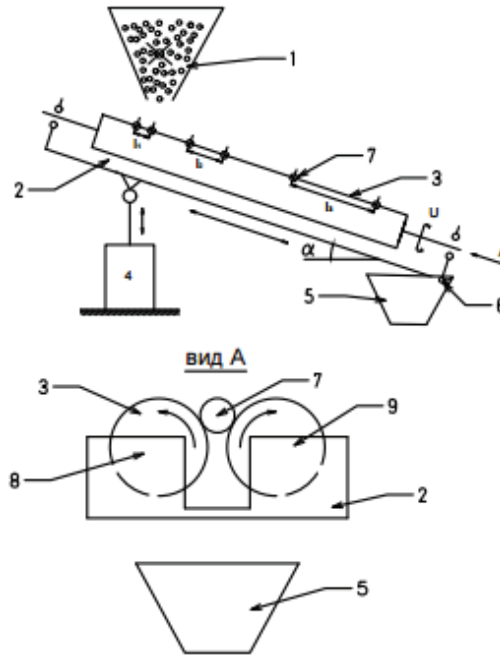
Традиционный подход к решению задачи поштучной подачи материальных объектов основан на использовании средств оптоэлектроники и компьютерной техники [2, 3]. При этом оптоэлектронные средства используются для получения информации об анализируемом материале, компьютерная техника – для распознавания зрительных образов с требуемыми характеристиками и выработки алгоритма последующих операций, а исполнительные механизмы – для непосредственного воздействия на подаваемые объекты. Вместе с тем нельзя не признать, что традиционный подход является довольно сложным и потому весьма уязвимым для ряда факторов [4]. Сюда можно отнести и необходимость стабилизированного электропитания, и некоторую зависимость параметров электронных схем от температуры, и влияние степени загрязнения оптических поверхностей на эффективность распознавания. Наконец, несмотря на стремительное снижение стоимости перечисленных видов технических средств, их эксплуатация остается довольно дорогой. Кроме того, в ряде простых случаев (например, при сортировке и подаче плодов сельскохозяйственных растений, семян или хлебобулочных изделий) использование такой техники становится неоправданным.

Есть простое техническое решение, позволяющее полностью исключить электронные средства и достичь того же результата при поштучной подаче округлых объектов с радиусами от 2 до 50 мм [5]. Причем требование «округлости» вовсе не предполагает идеальной сферичности форм подаваемых объектов, а лишь их способность перекатывания по движущейся поверхности.

На рисунке 1 представлена функциональная схема устройства для штучной подачи объектов, на рисунке 2 – кинематическая схема сил, действующих на объект, и на рисунке 3 – функциональная схема устройства с конусными барабанами.

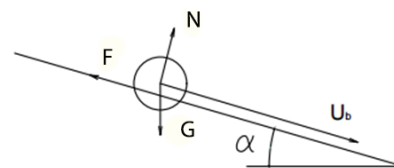
Бункер-питатель закреплен над верхней частью транспортера и подает объекты в межбарабанное пространство. Барабаны установлены с возможностью встречного вращения на лежащих в одной плоскости и параллельных друг другу осях 8 и 9. Угол наклона осей 8 и 9 к горизонту должен быть меньше угла трения объектов с поверхностью барабанов. Корпус закреплен в нижней части на шарнирной опоре. Верхняя часть корпуса соединена с механизмом изменения угла наклона  $\alpha$  барабанов

относительно горизонтальной плоскости. Межбарабанное пространство образует заборно-подающую канавку 10 (изображена на рисунке 3) по всей длине транспортера. В наиболее простом исполнении барабаны выполняются в форме цилиндров, однако они могут иметь форму усеченных конусов, большие основания которых расположены в зоне загрузки.



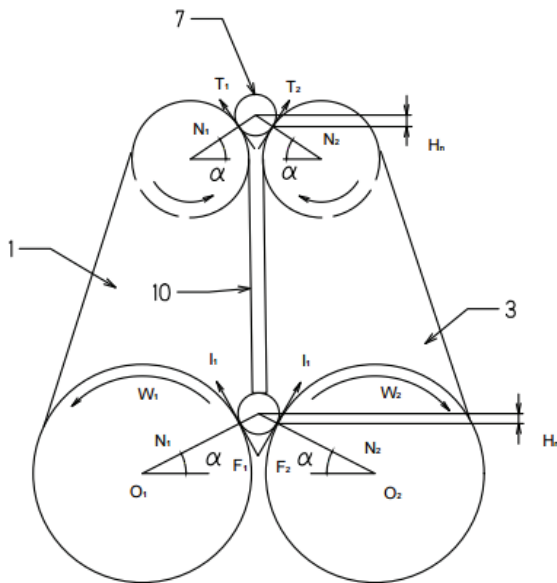
**Рис. 1. Функциональная схема устройства для поштучной подачи объектов:**  
 1 – бункер-питатель; 2 – корпус;  
 3 – двухбарабанный транспортер;  
 4 – механизм изменения угла наклона барабанов;  
 5 – приемный бункер; 6 – шарнирная опора;  
 7 – подаваемый объект;  
 8, 9 – продольные оси барабанов

При работе устройства подаваемые объекты 7 из бункера-напитателя 1 поступают в верхнюю часть межбарабанного пространства. За счет вращения барабанов они начинают совершать вращательные движения вокруг своего центра масс. Так как барабаны установлены под углом  $\alpha$  (от 1 до 60°) к горизонту, то под действием составляющей веса объекты начинают двигаться вдоль барабанов, распределяясь продольно по длине межбарабанного пространства с увеличивающимся интервалом.



**Рис. 2. Кинематическая схема сил, действующих на объект**

С началом вращения объектов 7 относительно своего центра масс они сталкиваются друг с другом. При этом верхний объект остается на месте или прижимается к вновь поступающим объектам. В то же время нижний объект от толчка скатывается вниз. По мере скатывания он ускоряет свое движение (составляющая ускорения свободного падения и расстояние между объектами увеличиваются  $I_3 > I_2 > I_1$ ). Если объекты будут иметь эллиптическую форму, то они сначала ориентируются длинной осью вдоль направления скатывания, затем начинают вращаться и также сползают вниз, попадая в приемный бункер 5.



**Рис. 3. Функциональная схема устройства с конусными барабанами**

Использование конусных барабанов 3 с уменьшенным диаметром в нижней части межбарабанного пространства интенсифицирует процесс увеличения интервала  $I_1$  между объектами. Механизмом изменения угла наклона  $\alpha$  барабанов к горизонтальной поверхности устанавливается оптимальное значение  $\alpha$ , компенсирующее силу трения  $F$  объекта по поверхности барабанов. При этом подбирается требуемый интервал следования объектов, а следовательно, и производительность устройства.

Данное устройство нашло применение в диэлектрических сепараторах и дражираторах, требующих поштучную подачу исходных семян к рабочему органу. Важными преимуществами устройства являются строгая очередность подачи объектов, а также возможность простого регулирования временных интервалов между попаданием объектов в рабочую область. Положительный результат применения устройства отмечен также при подаче горячих хлебулочных изделий в зону охлаждения и фасовки готовой продукции.

Опыт эксплуатации робототехнических систем показал, что роботы с программным управлением

успешно работают только в строго определенных и неизменных условиях [6]. Для создания таких условий необходимо вспомогательное техническое оборудование, стоимость которого иногда сравнима со стоимостью самого робота. Это требует значительных дополнительных затрат, усложняет процесс роботизации производства и делает его менее гибким [7, 8].

Большинство применяемых роботов вследствие жесткого программирования систем управления требуют существенного упорядочения рабочей среды. Это ведет к большим дополнительным затратам на изготовление высокоточных ориентаторов, позиционеров и накопителей, а также затрудняет широкое применение существующих автоматических манипуляторов.

Существенным недостатком роботов с программным управлением является необходимость привлечения человека-оператора для предварительного «обучения» робота тем или иным технологическим операциям. Этот процесс весьма трудоемок и требует высокой квалификации оператора. Программа движений, сформированная в результате обучения, предопределяет закон управления, реализуемый исполнительными приводами. Жесткий характер этого закона, не учитывающий динамическую информацию о состоянии робота и окружающей среды, приводит к тому, что даже небольшие отклонения заданных условий определяют потерю работоспособности, а появление препятствий приводит к аварии.

Условия эксплуатации роботов в ряде случаев заранее неизвестны, а иногда они могут меняться непредсказуемым образом в широком диапазоне. При этом целенаправленное взаимодействие робота с внешней средой строится на основе информации о состоянии среды, свойствах отдельных объектов в рабочей зоне, а также состоянии самого робота и его исполнительных органов. Характер и объем этой информации определяются функциональными назначениями робота, степенью неопределенности условий его работы, требуемой степенью автономности поведения и другими факторами. На практике имеется много случаев, когда принципиально необходимо в процессе управления движением робота использовать оперативную информацию о состоянии внешней среды [9]. Примерами таких производственных операций являются: манипулирование с неориентированными объектами и с объектами разной формы; захватывание и удержание хрупких объектов (с необходимостью регулирования усилия сжатия на уровне выскальзывания); сварка в ограниченных объемах, сварка по сложному контуру, зачистка сварных швов и профилированных поверхностей; взятие движущихся деталей (например, с конвейера); подготовка поверхностей к нанесению покрытий, окраска по контуру; механическая сборка; электрический монтаж и т.д. [10].

Определенную роль среди перечисленных процессов играет автоматическое адресование объектов при организации их движения по примерно заданной

траектории. С такой задачей мы сталкиваемся, например, при проектировании систем автоматической сортировки семян или плодов сельскохозяйственных растений, фасованного сырья и готовой продукции. При этом в целях экономии времени, энергии и материальных ресурсов это движение должно осуществляться по кратчайшему пути.

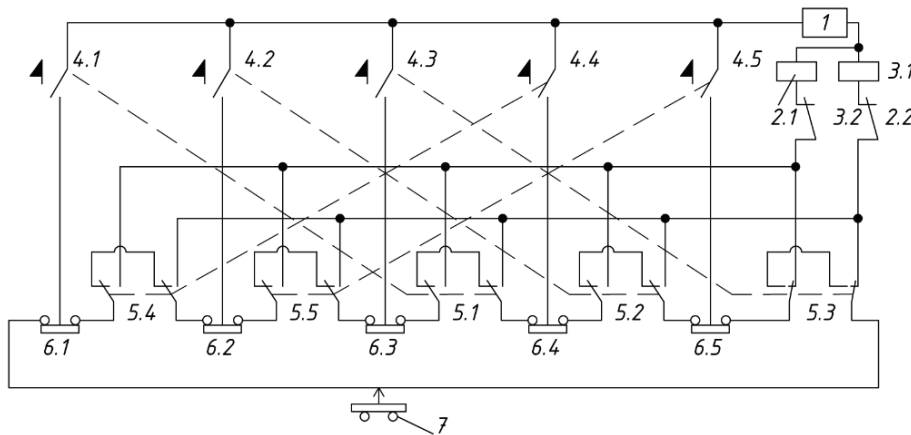
Несмотря на широкое распространение электронных процессоров, реализующих адаптивное управление такими операциями, для решения поставленной задачи вполне можно использовать простые релейно-контактные схемы. По сравнению с электронными процессорами эти схемы остаются более дешевыми, а надежность современных реле обеспечивает практически бесперебойную эксплуатацию системы на протяжении всего срока службы. Кроме того, релейно-контактные устройства нетребовательны к качеству питающей электроэнергии, а их работоспособность не зависит от температуры.

Релейно-контактное устройство, обеспечивающее автоматическое адресование объектов по крат-

чайшему пути [11], успешно эксплуатировалось в роботизированных системах сортировки картофеля, томатов и сахарной свеклы и может быть использовано с другими объектами, например, для управления перемещением конвейерных или цепных стеллажей, поворачивающихся барабанов, манипуляторов и т.д. [12].

Схема устройства приведена на рисунке 4.

Особенностью рассматриваемого устройства является наличие в нем датчиков положения, выполненных в виде мостиковых элементов и установленных на позициях сортирования. При этом первые выводы обмоток реле 2.1 и 3.1 подключены к выводам неподвижных переключателей 5.1...5.5, а остальные – соединены между собой. Контакты 6.1...6.5 управляются смежными датчиками положения со смещением относительно порядковых номеров последних на величину  $K$ . При общем числе позиций, равном  $n$ , значение величины  $K$  соответствует  $n/2$  и  $(n-1)/2$  при нечетном и четном числе позиций соответственно.



**Рис. 4. Схема автоматического адресования объектов по кратчайшему пути:**  
 1 – источник питания; 2.1, 3.1 – обмотки реле направлений перемещения;  
 2.2, 3.2 – размыкающие контакты; 4.1...4.5 – замыкающие контакты адресного задатчика;  
 5.1...5.5 – двухполюсные переключатели датчиков положения;  
 6.1...6.5 – размыкающие контакты датчиков положения; 7 – объект адресования

Устройство работает следующим образом. В положении, показанном на рисунке 1, устройство выполняет адресование на третью позицию. Объект 7, достигнув третьей позиции, воздействует на датчик положения, и его контакт 6.3 замыкается. При этом цепь питания обмотки 2.1 (3.1) реле на данный адрес разрывается. Устройство готово к следующему адресованию.

Допустим, необходимо адресовать объект 7 на первую позицию. Для этого замыкается контакт 4.1 задатчика адреса. За счет механической блокировки контакт 4.3 предыдущего адресования возвращается в исходное состояние, т.е. контакт 4.3 замыкается. Одновременно контакты переключателя 5.3 возвращаются в исходное состояние и замыкают цепь между контактами 6.5 и 6.1 датчиков положения. При этом, вследствие нахо-

ждения объекта 7 на третьей позиции адресования и разомкнутого состояния контакта 6.3 датчика положения, контакты переключателя 5.1 включают обмотку 3.1 реле направления перемещения в следующую цепь: адресный контакт 4.1, контакты 6.1, 5.3, 6.5, 5.2, 6.4, 5.1 и взаимоблокирующий контакт 2.2. Сработав, реле блокирует своими контактами 3.2 другое реле и подает питание на привод объекта 7, который по кратчайшему пути перемещается к первой позиции адресования, то он своим упором воздействует на датчик положения. Контакт 6.1 этого датчика замыкается и обесточивает обмотку 3.1 реле. Объект останавливается.

Если возникает необходимость перевода объекта с первой позиции на пятую – включается контакт 4.5 адресователя. За счет механической блокировки

контакты 4.1 и 5.1 возвращаются в исходное состояние, а контакты переключателя 5.5 подключают обмотку 3.1 реле в цепь: адресный контакт 4.5, контакты 6.5, 5.2, 6.4, 5.1, 6.3, 5.5 и взаимодействующий контакт 2.2. Дальнейшая работа устройства осуществляется по аналогичному алгоритму.

При переводе объекта с третьей позиции на пятую, после переключений, произведенных в схеме и описанных выше, окажется, что питание получает обмотка 2.1 реле по цепи: адресный контакт 4.5, контакты 6.5, 5.3, 6.1, 5.4, 6.2, 5.5 и взаимоблокирующий контакт 3.2. Объект с третьей позиции перемещается на пятую по кратчайшему пути.

### Выводы

Помимо основного назначения, устройство может быть использовано в роботизированных системах многозадачного управления материальными потоками.

### Библиографический список

1. Смирнов А.Б. Мехатроника и робототехника. Системы микроперемещений с пьезоэлектрическими приводами. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 160 с.
2. Дэвид А. Форсайт, Джек Понс. Компьютерное зрение. СПб.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 928 с.
3. Потапов А.С. Распознавание образов и машинное восприятие. М.: Политехника, 2007. 552 с.
4. Андре П., Кофман Ж., Лот Ф. Конструирование роботов. М.: Мир, 1986. 360 с.
5. Авторское свидетельство № 1561863 СССР. МКИ А 01 G 7/16 Устройство для поштучной подачи округлых предметов / А.Л. Андержанов, С.А. Ан-

дреев, С.И. Ковалев, В.П. Филаткин. № 4453317/30; заявл. 30.06.1986; опубл. 07.05.1990. Бюл. № 17.

6. Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е изд. СПб: БХВ – Петербург, 2001. 416 с.

7. Андреев С.А. Способ поштучной подачи объектов // Технические науки в мире: от теории к практике: Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции / Инновационный Центр развития образования и науки. Ростов н/Д, 2016. № 3. С. 95-100.

8. Робототехника / Ю.Д. Андрианов, Э.П. Бобриков, В.Н. Гончаренко и др.; Под ред. Е.П. Попова, Е.И. Юревича. М.: Машиностроение, 1984. 288 с.

9. Юсупов Р.Х. Моделирование динамики движения мобильного робота / Р.Х. Юсупов, Е.А. Воронин, В.Р. Юсупов // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2015. № 3. С. 14-20.

10. Юсупов Р.Х. Система управления универсального роботизированного базового транспортного модуля / Р.Х. Юсупов, В.П. Дементей, В.Р. Юсупов // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2012. 2(53). С. 36-41.

11. Авторское свидетельство № 1357321 СССР. МКИ А 01 G 47/46 Устройство для автоматического адресования объектов по кратчайшему пути / А.Л. Андержанов, С.А. Андреев, С.И. Ковалев, А.А. Тишаков. № 4021728/27-03; заявл. 13.02.1986; опубл. 07.12.1987. Бюл. № 45.

12. Андреев С.А. Автоматическое адресование объектов по кратчайшему пути / С.А. Андреев // Инновационные технологии в области технических наук: Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции. Хабаровск, 2016. № 1. С. 55-58.

Статья поступила 28.12.2016

## USING ROBOTIZED MANIPULATORS FOR FARM PRODUCE SINGLE-PIECE FEEDING AND RELOCATION

**RAMAZAN Kh. YUSUPOV, DSc (Eng) Professor**

E-mail: jusupow@mail.ru

**SERGEY A. ANDREYEV, PhD (Econ), Associate Professor**

E-mail: asa-finance@yandex.ru

Russian State Agrarian University – MAAA named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The task of single piece feeding and automatic addressing of material objects along the shortest path occurs in the development of equipment for automated conveyor production systems, for robotic classification and sorting of agricultural raw materials, semi-finished products and finished products. To solve this problem, in most cases, optical-and-electronic elements, computers and mechanical actuators are used. In order to simplify and reduce the cost of technical facilities, two simple designs of manipulators are proposed, providing for the piece-by-piece feeding of sorted objects and their spacial movement along the shortest path. The first structure contains a feeding hopper, a body, a conveyor (made in the form of drums), a mechanism for changing the inclination angle

of the drums, a receiving hopper and a hinged support. The drums are installed with the possibility of counter rotation around one-plane and parallel axes. The inter-drum space forms an intake-feeding groove along the entire length of the conveyor. Since the drums are installed at an angle (from 1 to 60 degrees) to the horizon, under the action of gravity, the objects begin to move along the drums, being distributed longitudinally along the length of the inter-drum space with an increasing interval. The objects are slipped out with the established periodicity determined by the inclination angle of the drums and their rotation frequency. The second construction is a relay-contact control circuit containing a directional motion relay, an address setter in the form of a set of switching elements with a fixed latch and a position sensor. In the process of addressing, the object location accompanied by a corresponding relay switching and the formation of a command that determines the further movement along the shortest path, is fixed by the position sensor. The control circuit logic is implemented by the relay switching and set by the operator depending on the purpose and features of addressing the objects. The manipulator can be used in robotic systems for sorting potato, tomato and sugar beet pieces, as well as for controlling the movement of conveyor or chain racks and rotating drums.

**Key words:** product sorting, robotics, manipulator, object submission, shortest path addressing.

### References

1. Smirnov A.B. Mekhatronika i robototekhnika. Sistemy mikropereme-shcheniy s p'yezoelektricheskimi privodami [Mechatronics and robotics. Systems of microswitches with piezoelectric drives]. SPb.: Izd-vo SPbGPU, 2003. 160 p. (in Rus).
2. David A. Forsite, Jack Pons. Komp'yuternoye zreniye [Computer vision]. SPb.: Izdatel'skiy dom "Vil'yams", 2004. 928 p. (in Rus).
3. Potapov A.S. Raspoznavaniye obrazov i mashinnoye vospriyatiye [Recognition of images and machine perception]. Moscow, Politekhnik, 2007. 552 p. (in Rus).
4. Andre P., Kofman G., Lot F. Konstruirovaniye robotov [Designing robots]. Moscow, Mir, 1986. 360 p. (in Rus).
5. Anderzhanov A.L., Andreyev S.A., Kovalev S.I., Filatkin V.P. Ustroystvo dlya poshtuchoy podachi okruglykh predmetov [Device for single-piece feeding of round objects]. Avtorskoye svidetel'stvo № 1561863 SSSR. MKI A 01 G 7/16; appl. 30.06.1986; publ. 07.05.1990. Bul. No. 17. (in Rus).
6. Yurevich Ye.I. Osnovy robototekhniki [Fundamentals of robotics]. 2nd ed. SPb: BKHV – Peterburg, 2001. 416 p. (in Rus).
7. Andreyev S.A. Sposob poshtuchoy podachi ob'yektov [Method of single-piece feeding of objects]. Tekhnicheskiye nauki v mire: ot teorii k praktike. *Sbornik nauchnykh trudov po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Innovatsionnyy Tsentr razvitiya obrazovaniya i nauki.* Rostov n/D, 2016. No. 3. Pp. 95-100. (in Rus).
8. Andrianov Yu.D., Bobrikov E.P., Goncharenko V.N. Robototekhnika [Robotics]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1984. 288 p. (in Rus).
9. Yusupov R.Kh., Voronin Ye.A., Yusupov V.R. Modelirovaniye dinamiki dvizheniya mobil'nogo robota [Modeling the movement dynamics of a mobile robot]. *Vestnik FGOU VPO "MGAU imeni V.P. Goryachkina"*. 2015. No. 3. Pp. 14-20. (in Rus).
10. Yusupov R.Kh., Dementey V.P., Yusupov V.R. Sistema upravleniya universal'nogo robotiziro-vannogo bazovogo transportnogo modulya [Control system for the universal roboticized basic transport module]. *Vestnik FGOU VPO "MGAU imeni V.P. Goryachkina"*. 2012. No. 2(53). Pp. 36-41. (in Rus).
11. Anderzhanov A.L., Andreyev S.A., Kovalev S.I., Tishakov A.A. Ustroystvo dlya avtomaticheskogo adresovaniya ob'yektov po kratchayshemu puti [Device for automatic addressing of objects by the shortest path] Avtorskoye svidetel'stvo № 1357321 SSSR. MKI A 01 G 47/46; appl. 13.02.1986; publ. 07.12.1987. Bul. No. 45. (in Rus).
12. Andreyev S.A. Avtomaticheskoye adresovaniye ob'yektov po kratchay-shemu puti [Automatic addressing of objects by the shortest path]. *Innovatsionnyye tekhnologii v oblasti tekhnicheskikh nauk: Sbornik nauchnykh trudov po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.* Khabarovsk, 2016. № 1. Pp. 55-58. (in Rus).

Received on December 28, 2016