

УДК 62-1

**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ С  
РЕГУЛИРУЕМЫМ ИЗГИБОМ***Теплякова С. В., Копылов Ф. С.,  
Крымский В. С.*

Донской государственной технической  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[svet-tpl@yandex.ru](mailto:svet-tpl@yandex.ru)[kopilov@mail.ru](mailto:kopilov@mail.ru)

Область применения роботов-манипуляторов постоянно расширяется и захватывает все больше отраслей производства. Поэтому конструктивные особенности роботов разнообразны и зависят от их функциональных и эксплуатационных характеристик в данной отрасли. Базовым узлом манипулятора служит рабочий орган, характеризующийся жесткостью звеньев. Наиболее популярные и часто применяемые манипуляторы состоят из жестких звеньев. Менее распространенными являются манипуляторы с использованием рабочего органа низкой жесткости, состоящего из звеньев с управляемым изгибом.

**Ключевые слова:** промышленные манипуляторы, погрузочно-разгрузочные работы, технологический процесс, жесткость звена, контролируемая деформация.

**Введение.** В современных условиях масштабы применения промышленных манипуляторов постоянно расширяются. В частности, манипуляторы общего назначения, применяемые для погрузочно-разгрузочных работ, являются неотъемлемой частью механизации жизнедеятельности человека [1–2].

Современные технологические процессы непрерывно развиваются, на смену ручному труду приходят усовершенствованные универсальные транспортные и перегрузочные устройства, обеспечивающие высокую степень механизации и автоматизации даже при разнородной серийной продукции. Такие механизмы отвечают высоким требованиям в способностях захватывать, удерживать и переносить предметы различных форм и габаритов, а также имеют достаточно большое число степеней свободы для перемещения этих предметов в заданное место с конечным фиксированием определенного положения.

**Классификация и параметры манипуляторов.** Конструктивные особенности промышленных роботов определяются их функциональными и эксплуатационными характеристиками. Основными из них являются: рабочая зона, манипулятивность, коэффициент

UDC 62-1

**CONSTRUCTIVE PECULIARITIES OF  
INDUSTRIAL ROBOTS-MANIPULATORS  
WITH ADJUSTABLE BEND***Teplyakova S.V., Kopylov F.S.,  
Krymskiy V.S.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[svet-tpl@yandex.ru](mailto:svet-tpl@yandex.ru)[kopilov@mail.ru](mailto:kopilov@mail.ru)

The field of application of robots-manipulators is steadily expanding capturing more and more industries. Therefore, the design features of robots are diverse and depend on functional and operational characteristics. The basic node of the manipulator is the working body, characterized by the rigidity of the links. The most popular and often used manipulators consist of rigid links. Less common are manipulators using a working body of low rigidity, consisting of links with controlled bending.

**Keywords:** industrial manipulators, handling operations, technological process, link rigidity, controlled deformation.

сервиса, нагрузочная способность. Главный показатель конструкции манипулятора — жесткость звеньев руки. По этому показателю звенья можно классифицировать следующим образом:

- жёсткие звенья;
- звенья с контролируемой деформацией;
- звенья с управляемым изгибом.

Наиболее популярными в эксплуатации и часто применяемыми для погрузочно-разгрузочных работ являются манипуляторы первого класса, состоящие из жестких звеньев. Одновременно с ними разрабатывались и вводились в эксплуатацию менее популяризированные манипуляторы второго класса, в которых используются звенья с контролируемой деформацией. Эти манипуляторы находят применение в средствах контроля, диагностики и доставки инструмента в загроможденном пространстве.

**Конструкции манипуляторов.** Промышленные манипуляторы с жёсткими звеньями могут производить поступательное или же угловое перемещение схвата с грузом. Это движение основано на взаимодействии последовательных или параллельных кинематических пар. При параллельном соединении схват перемещается за счет одного звена, во втором случае задействованы все кинематически связанные звенья.

Манипуляторы второго класса с контролируемой деформацией активно применяют для тех процессов перемещения, в которых необходим учет возможного изгиба звеньев и их вынужденных колебаний [3]. Примером такой системы выступает манипулятор на основе трубок Бурдона, которые широко используются в конструкции манометров (рис. 1). Форма трубок Бурдона 1 и 2, последовательно соединенных между собой, зависит от подаваемого в них давления. Изменение нагрузки позволяет менять положение рабочего органа 3 в пределах некоторой области А.

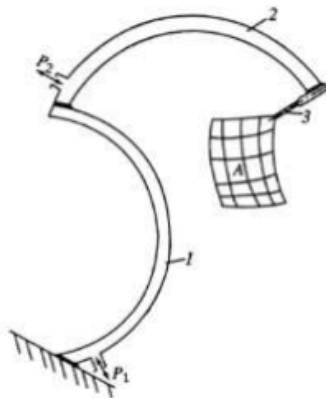


Рис. 1. Схема манипуляционной системы на основе трубок Бурдона

Манипуляторы третьего класса, которые используют звенья с управляемым изгибом, наименее распространены в промышленности. Их отличительной чертой является минимальное количество звеньев. Достоинство таких манипуляторов заключается в возможности перемещения схвата или рабочего инструмента в любом направлении и с различной пространственной конфигурацией движения. Вместе с тем они плохо управляемы за счет малой жесткости звеньев, которая не позволяет выполнять работы с формообразующим инструментом. Однако такие манипуляторы незаменимы при доставке разного рода инструментов для покраски, обработки и смазки, а также могут быть использованы для обхвата относительно небольшого объекта при его

поднятии и перемещении, например, при бесконтактном контроле в труднодоступных внутренних полостях агрегатов.

Существует несколько приемов разработки манипуляторов высокой подвижности, использующих звенья с управляемым изгибом [4]. Фирма *Festo* создала бионический манипулятор, копирующий движения хобота слона (рис. 2). Перемещения такого манипулятора происходят за счет изменения подачи воздуха в полости легкодеформируемых элементов, изготовленных из специальных пластичных материалов. Элементы состоят из определенного количества последовательно организованных сегментов, имеющих разные размеры.

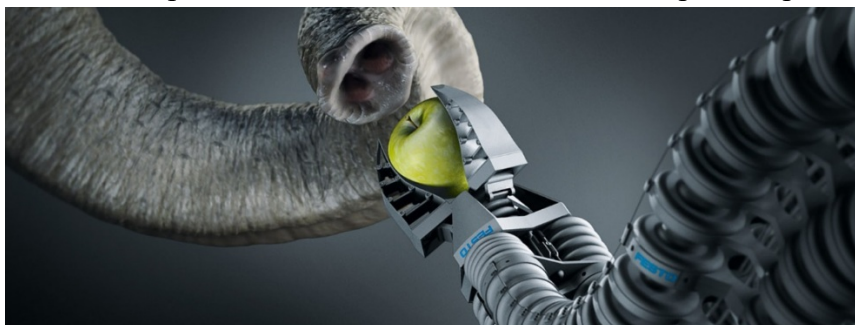


Рис. 2. Бионический манипулятор фирмы Festo

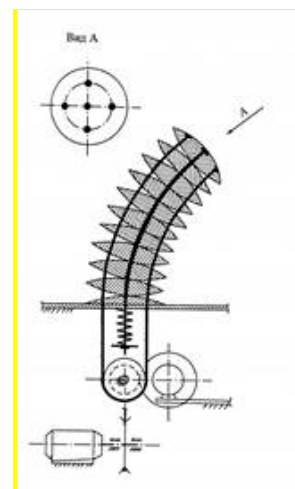
Известен также манипулятор с управляемым изгибом, выполненный из сплавов с «эффектом памяти» или из биметаллических пластин. Подвижность и скорость перемещений манипулятора зависит от степени нагрева и теплопередачи в окружающем пространстве, поэтому передаточные механизмы в его конструкции отсутствуют.

Следующая разновидность манипуляторов с управляемым изгибом основана на применении в их конструкции четырех герметично запаянных гибких трубок-соленоидов, заполненных магнитной жидкостью. Трубки расположены под углом  $90^\circ$  друг к другу. При подаче в такую систему напряжения происходит изгиб стенок какой-либо трубки, тем самым осуществляется перемещение рабочего органа.

На предприятиях *Volvo*, *Volkswagen* и *JCB* уже с 1980 г. для лакокрасочных работ применяются манипуляторы с управляемым изгибом фирмы *SpineInc* (рис. 3). Движение происходит за счет гибкого соединения элементов сферической формы, которые позволяют манипулятору иметь 7 степеней подвижности (2 — в плече, 2 — в предплечье и 3 — кистевые).



а)



б)

Рис. 3. Внешний вид (а) и конструкция (б) манипулятора Spine



**Заключение.** Растущие темпы развития производственных технологий требуют роботизации процессов с затруднённым применением традиционных промышленных манипуляторов. Понижение степени жесткости, т. е. увеличение маневренности промышленных манипуляторов, позволяет решать задачи снижения энергозатрат.

#### **Библиографический список**

1. Богданов, Д. Р. Конструктивные особенности манипуляторов с управляемым изгибом [Электронный ресурс] / Д. Р. Богданов, О. В. Даринцев // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 6. — Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11784> (дата обращения: 15.08.2019).
2. Бионические роботы Festo: пауки и осьминоги на фабриках будущего? [Электронный ресурс] / Блог компании Smile-Expo (habr). Робототехника. — Режим доступа : <https://habr.com/ru/company/smileexpo/blog/416989/> (дата обращения: 15.08.2019).
3. Василенко, Н. В. Основы робототехники : учеб. пособие / Н. В. Василенко [и др.]. — Томск : РАСКО, 1993. — 473 с.
4. Бойко, М. В. Технологический манипулятор высокой маневренности «Living Stick» палочник / М. В. Бойко // Молодой ученый. — 2015. — № 19.1. — С. 81–84.