

**МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ****КОМПАКТНЫЙ МОДУЛЬНЫЙ РОБОТ-МАНИПУЛЯТОР  
В КАЧЕСТВЕ СОВРЕМЕННОГО РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ***Власов Ярослав Сергеевич*

*старший преподаватель, Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II,  
127055, РФ, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр.1  
E-mail: [yvlasov@yandex.ru](mailto:yvlasov@yandex.ru)*

**THE COMPACT MODULAR ROBOT-MANIPULATOR  
AS MODERN PROBLEM SOLVING OF AUTOMATIZATION***Yaroslav Vlasov*

*senior Lecturer, Moscow State University of Railway Engineering of Imperator Nikolai II,  
127055, Russia, Moscow, Obraztsova Street, 9, b.1*

**АННОТАЦИЯ**

Рассмотрены преимущества модульного подхода к применению промышленных роботов-манипуляторов малой грузоподъемности и предполагаемых причин отказа от него в современных технических решениях. Проведена научно-исследовательская работа, в рамках которой спроектирована и создана опытная модель робота, где реализуется модульный подход как в механических узлах линейных и вращательных перемещения, так и в силовой и цифровой схеме электроники робота с возможностью использования силовых драйверов управления двигателями различных производителей. Рассматриваются преимущества программного управления роботом с открытым исходным кодом и гибкой настройкой конфигурации. Дан обзор перспективам развития модульного подхода к таким устройствам. По результатам выполнения НИР можно сделать выводы о том, что модульные мехатронные конструкции имеют преимущество как в ценовых, так и в эксплуатационных показателях, а доступность тонкой настройки программного обеспечения с возможностью включать пользовательский код делает инженерную разработку по внедрению роботов свободной от навязывания одним производителем «уникальных» опциональных технических решений. По сути, такой подход может применяться к промышленным роботам и станкам с ЧПУ любой грузоподъемности и кинематики.

**ABSTRACT**

Advantages of a modular approach to the application of industrial robots-manipulators of a puddle jumper and resignation suspect points in modern technical solutions are considered. Scientific and research work in the framework of which an experimental model of the robot is designed and created where the modular approach is realized in mechanical components of linear and rotational motion and in power and digital electronics circuit of the robot with the ability to use power motor control drivers of different manufacturers. Advantages of robot control software with the open source code and flexible setup configuration are considered. A review of the prospects for the development of the modular approach to such devices is presented. Based on results of conducting research scientific work, it is concluded that modular mechatronic constructions have an advantage in price and in service factors, and availability of the software tweak with the ability to include the custom code makes engineering design to implement robots free from the imposition of "unique" optional technical solutions by one manufacturer. In fact, this approach can be applied to industrial robots and CNC machines of any capacity and kinematics.

**Ключевые слова:** робот, манипулятор, модульный подход.

**Keywords:** robot; manipulator; modular approach.

Данное научное исследование проводится при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «УМНИК» по теме «Разработка робота-манипулятора» в рамках договора № 6820ГУ2 от 2015 г.

Целью научно-исследовательской работы является создание дешевого устройства для автоматизации и роботизации технологических процессов, не предъявляющих высоких требований к точности позиционирования и динамике.

Эта цель обусловлена тем, что на текущий момент на рынке нет готовых серийных или мелкосерийных решений в данной категории (ценовой и технической), а для большего спектра задач применяются дорогие устройства с заведомо избыточными параметрами по скорости, точности и грузоподъемности. На взгляд автора, это обусловлено маркетинговой составляющей и не имеет под собой реальной технико-экономической основы. В подтверждение этому можно указать на общую тенденцию удорожания промышленных роботов и мехатронных устройств путем навязывания ненужных и избыточных во многих случаях технических «улучшений», новых функциональных возможностей и программных дополнений / обновлений. Такая тенденция прослеживается повсеместно. Старые, но не устаревшие модели оборудования снимаются с производства, и им на смену приходят новые, более дорогие. При этом максимально ухудшается ремонтпригодность, вводятся дополнительные элементы для неотвратимости сервисного обслуживания, даже если устройство не выработало положенный ресурс.

Исходя из этого, можно отметить необходимость создания такого класса устройств, которые будут закрывать область применения промышленных роботов, где на данный момент используются избыточные по своим техническим характеристикам дорогостоящие устройства. Это решение поможет заказчику оборудования сэкономить значительную часть средств.

Необходимость применения модульного подхода понимали и в Советском Союзе на пике развития робототехнической отрасли. Именно агрегатно-модульному подходу уделяли наибольшее внимание и считали его перспективным направлением развития в области машиностроения, акцентируя внимание на снижении себестоимости, сокращении сроков проектирования, изготовления и внедрения и повышении ремонтпригодности [1, с. 7–8]. Еще одним доводом, говорящим за модульный подход, является тенденция к модульности на более высоком уровне: на данном этапе модульными становятся производственные роботизированные ячейки, линии и даже цеха, позволяющие быстро заменять отдельные технологические единицы или участки.

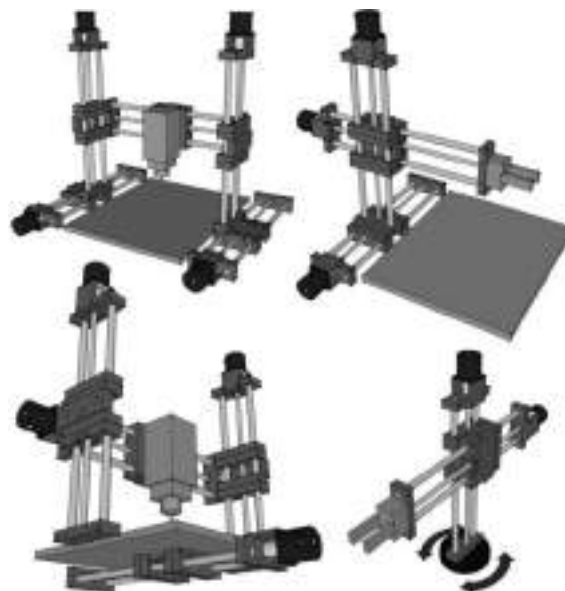
Вторым неоспоримым плюсом, на котором делался акцент при постановке задачи и разработке, обусловленным вышеуказанными обстоятельствами, является некоторая открытость документации, гибкость ПО и простота технического обслуживания. В настоящее время мы знаем ряд крайне успешных открытых технических проектов с разработкой не только программной части, но и механики и электроники. Эти проекты (Rep-геп принтеры, аппараты Холтера, ручные осциллографы, квадрокоптеры, лазерные 3D сканеры *scloer* и т.д.) получили распространение по всему миру и являются успешными стартапами. Возможно, в перспективе большинство разработок будет вестись именно таким образом. Наш проект также мог бы получить такую ветвь развития.

При анализе и первичной проработке проекта были выбраны следующие технические решения:

- модульный подход к компоновке и кинематике устройства;
- разработка нескольких базовых компоновок робота с наиболее распространенными кинематическими схемами;
- простота изготовления деталей устройства и его сборки;
- относительная универсальность электронной части, продиктованная возможностью выбора кинематики и широким рядом задач, решаемым роботом;
- простота, гибкость и универсальность применяемого ПО;
- максимальная совместимость с другими устройствами.

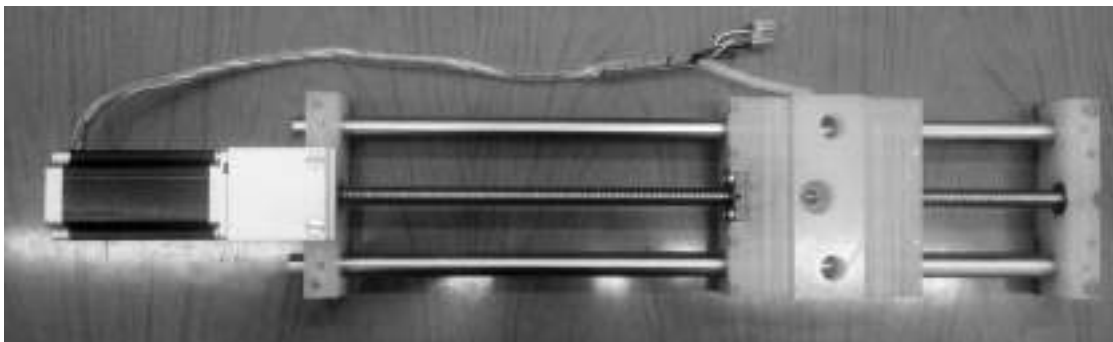
Выбор делался в рамках поставленной технической задачи и исходя из технологических возможностей изготовления на доступном оборудовании.

Руководствуясь основными принципами проектирования механических мехатронных устройств [5, с. 3–15, 245–251] и используя программное обеспечение «SketchUp», мы спроектировали основные механические поддулы и их компоновки (рис. 1.).



**Рисунок 1. Варианты компоновок модулей**

Основными механическими узлами современных роботов-манипуляторов являются привода линейного и вращательного перемещения. При этом как при изготовлении, так и при эксплуатации привод линейного перемещения значительно проще. Поэтому было принято решение в первую очередь сделать упор на разработку линейного модуля перемещения и робота с линейной кинематикой. Элементами механики линейных подач, используемых в декартовых роботах, являются винт (в нашем случае ШВП – шарико-винтовая пара), гайка и направляющие с линейными подшипниками. Путем объединения этих стандартных элементов кареткой и торцевыми креплениями, спроектированными под модульное соединение, с учетом дальнейшего подключения концевых выключателей и установки гофрозащиты получен опытный образец модуля линейного перемещения (рис. 2.).

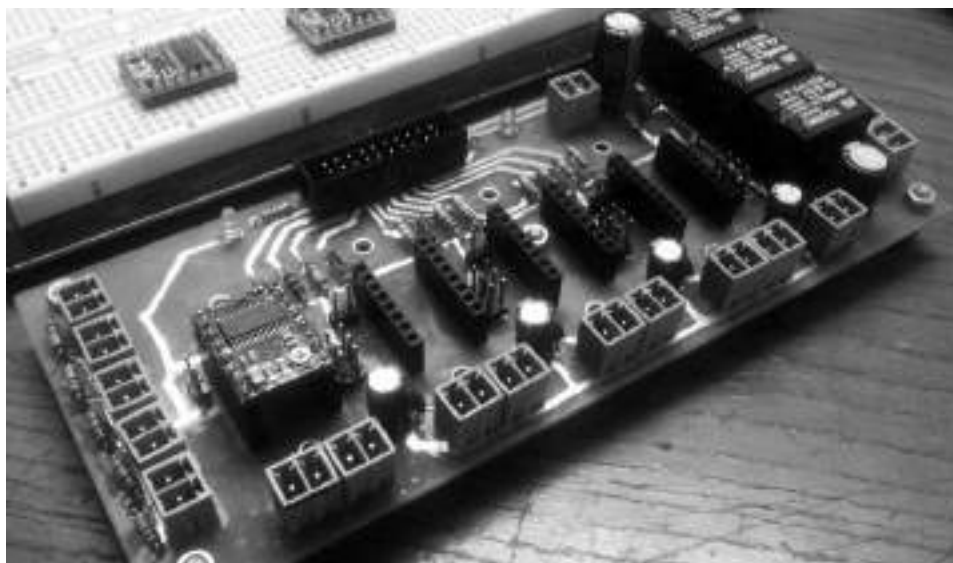


*Рисунок 2. Модуль линейного перемещения*

Электронное оборудование является неотъемлемой частью проекта. Оно включает силовую часть управления двигателями и управления подключаемым оборудованием, часть согласования и подключения к устройству управления (в нашем случае персональный компьютер или микроконтроллер), часть передачи данных как по цифровым входам / выходам, так и по шинам передачи данных.

В рамках разработки электронной части было принято решение также по возможности внедрить модульный принцип – с целью сделать электронный блок в значительной степени универсальным. На данный момент такая тенденция прослеживается у

множества электронных устройств, которые управляют сложной механикой, имеющей различные модификации, но сохраняющей основные схожие повторяющиеся блоки. Однако существующие разработки предлагают незначительную универсальность, во многих случаях ограничивающуюся заменой силовых драйверов на те же модели при выходе их из строя. В данной работе на основе базовых принципов электроники [2] был разработан универсальный буферный блок коммутации силовых драйверов (Рис. 3.), позволяющий передавать сигналы управления как от внешнего ЧПУ контроллера сторонних производителей, микроконтроллера с собственной программой, так и от параллельного порта компьютера.



*Рисунок 3. Плата коммутации силовых драйверов двигателей*

Для управления модульными роботами различной конфигурации требуется гибкое программное обеспечение, позволяющее вести быструю и простую настройку конфигурации устройства. Под данные требования попадает LinuxCNC – полностью бесплатное ПО с открытым программным кодом. Данное ПО при программировании непосредственно устройства (робота, станка) работает со стандартным G-кодом. Имеется возможность управлять девятью подачами одновременно. Есть возможность подключать для каждой из подач обратную связь, что является направлением для дальнейшего развития робота. Программа работает под операционной системой

Linux, весь комплекс в целом может быть настроен таким образом, что при включении компьютера произойдет автоматический запуск LinuxCNC и выполнение рабочей программы. Это важно для автоматизации производственных процессов с использованием разрабатываемых устройств. Важно отметить низкие требования программы к «железу» компьютера: в некоторых случаях устройство будет работать даже на Pentium III. Важным фактором также является возможность взаимодействия с другим оборудованием при использовании модульного робота в составе автоматизированной системы. Как оказалось, и эта задача уже реализована в рамках данного ПО: в

программе можно использовать множество цифровых входов и выходов.

Программа обладает множеством тонких настроек. Поэтому мы можем не только задавать скорости и ускорения подач, но и настраивать математическую компенсацию люфтов, переназначать цифровые входы и выходы, инвертировать их, настраивать как параллельное, так и последовательное базирование по всем осям, отдельно задавать настройки рабочего органа, добавлять 3D модель для графического отображения работы робота и отображения прохода исполняемого кода в режиме эмуляции и многое другое [3, 4].

По результатам итоговых испытаний устройства с различными кинематическими схемами, в том числе с модулем вращения, синхронизацией устройств, испытаний с рабочим органом, можно сделать следующие выводы:

- устройство работоспособно и выполняет все функции, предусмотренные техническим заданием в рамках НИР;
- поворотные модули и модули линейного перемещения работают с заявленной точностью позиционирования (0,1 мм) и скоростью (до 800 мм/мин);
- программное обеспечение позволяет синхронизировать работу нескольких устройств в параллельном режиме, а также работать с устройствами сторонних производителей (такими как ПЛК, роботизированные комплексы, микроконтроллерные системы, стороннее ПО);
- разработанная оснастка робота позволяет говорить о возможности использования множества существующих устройств, предназначенных для легких роботов и станков с ЧПУ, а также без труда разрабатывать оснастку для робота для уникальных решений;

#### Список литературы:

1. Воробьев Е.И., Козырев Ю.Г., Царенко В.И. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа. / Под общ. ред. Попова Е.П. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники / Пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – 512 с.
3. LinuxCNC Integrator Manual V2.6.12-95-gb2a4f86, 2016-10-05. 341 с. / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://linuxcnc.org/docs/2.6/pdf/> (дата обращения: 11.10.2016).
4. LinuxCNC User Manual V2.6.12-95-gb2a4f86, 2016-10-05. 253 с. / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://linuxcnc.org/docs/2.6/pdf/> (дата обращения: 11.10.2016).
5. Sandin P.E. Robot mechanisms and mechanical devices illustrated. McGraw-Hill, 2003. – 299 p.

#### References:

1. Vorob'ev E.I., Kozyrev Yu.G., Tsarenko V.I. Industrial robots of the aggregate-modular type. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 240 p. (In Russian).
2. Khorovits P., Khill U. Art of circuit engineering. Moscow, Mir Publ., 1993. 512 p. (In Russian).
3. LinuxCNC Integrator Manual V2.6.12-95-gb2a4f86, 2016-10-05. 341 p. Available at: URL: <http://linuxcnc.org/docs/2.6/pdf/> (accessed 11 October 2016).
4. LinuxCNC User Manual V2.6.12-95-gb2a4f86, 2016-10-05. 253 p. Available at: URL: <http://linuxcnc.org/docs/2.6/pdf/> (accessed 11 October 2016).
5. Sandin P.E. Robot mechanisms and mechanical devices illustrated. McGraw-Hill, 2003. 299 p.

• разработанная электроника позволяет с легкостью перестраивать конфигурации робота и проводить ремонт и замену ее элементов;

- робот безотказно работает длительное время;
- по результатам НИР затраты и изготовление устройства оказались ниже планируемых благодаря применению лазерного режущего станка для изготовления многих деталей и учета данных технологических возможностей при проектировании. Для некоторых целей вполне подходит вариант исполнения основного конструктива из фанеры (возможны также варианты из алюминия и железа), что также снижает себестоимость.

Исходя из этого, можно сказать, что робот в различных компоновках найдет широкое применение в разнообразных производственных технологических процессах для негабаритных деталей (рабочих областей), таких как: сортировка, сборка, расстановка компонентов печатных плат (где позволяет точность позиционирования), окраска, лазерная резка, нанесение материалов экструдированием, фрезеровка, упаковка, перестановка и др. Робот также может работать совместно с другим промышленным оборудованием.

Неоспоримым преимуществом данной разработки по сравнению со всеми существующими аналогами является открытость применяемого программного обеспечения, гибкость его наладки под каждое техническое решение. Также в рамках ПО предусмотрено перестроение значительной части управляющей программы «на лету», то есть после ее запуска, что не реализовано в большинстве существующих аналогичных устройств.