

## СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 62-97/-98

### ОБЗОР РОБОТОВ ПО ТИПУ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ\*

А.В. ГНОЕВОЙ<sup>1</sup>, О.В. ПРЫТКОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, соискатель. E-mail: andrey2455@gmail.com

<sup>2</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, заместитель директора УЦИТ «Информатика». E-mail: ucit@ucit.ru

В данной статье приведен обзор робототехнических устройств. Группировать роботов можно по многим признакам: по задачам, которые они выполняют, по наличию или отсутствию оператора, по типу микроконтроллеров, по габаритам, по любительской или промышленной разработке и др. В данной статье роботы рассмотрены по типу движения – это едzące, летающие, плавающие, шагающие роботы, а также роботы-манипуляторы. Рассмотрены их преимущества и область применения. Описаны задачи, которые ставят перед собой разработчики, проектируя данные типы роботов. Для каждого типа роботов приведены примеры, которые на данный момент представляют интерес в программной или конструкторской составляющих. Передвижение робота – это различные методы, использующиеся для транспортировки себя с места на место. В статье отмечается, что развитие робототехники в скором будущем приведет к новой технической революции и повлияет на качество жизни человека.

**Ключевые слова:** робототехника, шагающие роботы, летающие роботы, едzące роботы, плавающие роботы, октоподы, гексаподы, искусственный интеллект

DOI: 10.17212/2307-6879-2015-3-98-113

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время прослеживается активный рост интереса к робототехнической отрасли.

Роботы классифицируются:

- по областям применения – промышленные, военные, исследовательские;
- по среде обитания (эксплуатации) – наземные, подземные, надводные, подводные, воздушные, космические;

---

\* Статья получена 19 июня 2015 г.

- по степени подвижности – стационарные, мобильные, смешанные;
- по типу системы управления – программные, адаптивные, интеллектуальные;
- по функциональному назначению – манипуляционные, транспортные, информационные, комбинированные;
- по типу приводов – электрические, гидравлические, пневматические;
- по типу движителя – гусеничные, колесные, колесно-гусеничные, полугусеничные, шагающие, колесно-шагающие, роторные, с петлевым, винтовым, водометным и реактивным движителями;
- по конструктивным особенностям технологического оборудования (по числу манипуляторов);
- по грузоподъемности манипуляторов (сверхлегкие – до 1 кг, легкие – от 1 до 10 кг, средние – от 10 до 200 кг, тяжелые – от 200 до 1000 кг, сверхтяжелые – свыше 1000 кг);
- по системе координат рабочей зоны (линейная, угловая);
- по типу источников первичных управляющих сигналов – электрические, биоэлектрические, акустические;
- по способу управления – автоматические, дистанционно-управляемые (ко-пирующие, командные, интерактивные, супервизорные, диалоговые), ручные (шарнирно-балансирные, экзоскелетонные);
- по уровню универсальности – специальные, специализированные, универсальные;
- по типу базовых элементов систем управления – пневматические, электронные, биологические.

В данной статье приведен обзор роботов по типу передвижения. Для моделирования процесса передвижения робота все чаще применяются сети Петри и нейронные сети [9–14].

## 1. ЕЗДЯЩИЕ РОБОТЫ

Ездящие роботы – это роботы, у которых в качестве шасси выступают колеса или гусеницы. Среди начинающих робототехников они пользуются наибольшей популярностью. Дело в том, что стоимость комплектующих для такой базы достаточно низкая. Необходимы 1–2 двигателя и колеса (или гусеницы). Опыта разработки таких платформ предостаточно [1].

Данную платформу выбирают не только начинающие за ее легкость освоения, но и профессионалы – за ее надежность. На данный момент гусеничная база является одной из самых вездеходных. Конечно, проходимость судов на воздушной подушке выше, но эти суда не смогут перемещать тяжелые грузы,

например оружие, которое устанавливается на танк. А к космической отрасли они вообще неприменимы (в космосе кислорода нет).

Как правило, для таких роботов шасси используется как самостоятельная единица, и никаких конструктивных нововведений не используется. Основное внимание уделяется искусственному интеллекту, который управляет движением робота. Среди начинающих пользуются популярностью задачи определения и преодоления препятствий. Среди промышленных исполнений внимания заслуживают военные роботы «саперы», марсоход «Curiosity» и другие. Правда, в этих случаях команды роботу отдает оператор.



*Рис. 1.* Volkswagen Touareg по прозвищу «Стэнли» от лаборатории искусственного интеллекта в Стэнфордском университете в 2005 году выиграл 212-километровую гонку по сложной трассе в пустыне Мохаве. Стэнли преодолел это расстояние, используя лишь навигационную систему GPS, камеры и множество сенсоров менее чем за 7 ч со средней скоростью 30 км/ч

Также одним из самых перспективных направлений является разработка автономных транспортных средств. В Америке ежегодно с 2004 года проходят соревнования управляемых роботами автомобилей – DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency’s) Grand Challenge. Цель соревнований – создание автономных транспортных средств. Финансируется правительством США. Также к разработке автомобилей с автопилотом присоединилась компания Google. При этом их автомобиль уже участвует в общем потоке машин. Правда, пока еще случаются аварии. В данном направлении сейчас стараются активно применять методы обучения.



Рис. 2. Автомобиль, управляемый роботом, от компании Google (видеопрезентацию можно посмотреть по ссылке: <https://youtu.be/CqSDWoAhvLU>)

## 2. ЛЕТАЮЩИЕ РОБОТЫ

В этой категории, так же как и у «старших собратьев», идет деление на два типа: вертолеты и крылатые аппараты. Среди самолетов наиболее известны военные беспилотники американского происхождения Predator (рис. 3). ВВС США и ЦРУ активно применяют их с 1995 года в конфликтах в Афганистане, Пакистане, Боснии, Сербии, Ираке, Сирии и др. Основное назначение – разведка. Для этого они оборудованы камерами и сенсорами. Помимо этого, данные беспилотники могут быть модифицированы для транспортировки на борту оружия.



Рис. 3. General Atomic MQ-1 Predator

Российский беспилотник. Беспилотный летательный аппарат (БЛА) Т23Э (рис. 4) является носителем целевой аппаратуры телевизионного либо тепловизионного наблюдения и служит для ее доставки в заданный район и возвращения к месту посадки в соответствии с заданным маршрутом. С целью уменьшения габаритных размеров БЛА выполнен по аэродинамической схеме «летающее крыло», складные консоли которого обеспечивают его хранение в контейнере с размерами не более  $0.9 \times 0.5 \times 0.12$  м. БЛА оснащен электрическим двигателем, расположенным в хвостовой части фюзеляжа, с толкающим винтом. Старт БЛА осуществляется при помощи резинового жгута либо пневматической катапульты. Благодаря особенностям конструкции, малым размерам, электрической силовой установке БЛА в полете обладает очень малой оптической, акустической и радиолокационной заметностью. Посадка БЛА осуществляется при помощи парашютной системы с высоты от 30 м на неподготовленную площадку ограниченных размеров [6, 7].



Рис. 4. БЛА Т23Э

Среди гражданских летательных аппаратов наиболее популярны квадрокоптеры. В отличие от вертолетов (helicopters) у них не один, а четыре (может больше) винта, обеспечивающих подъемную силу. Также благодаря четырем винтам они становятся более маневренными и легкими в управлении. Если для освоения управления настоящим вертолетом, да и моделью тоже, требуется продолжительное время, то достойно управлять квадрокоптером можно спустя несколько дней тренировок. Габариты таких квадрокоптеров, как правило, не превышают метра в размахе винтов. Это в первую очередь обусловлено комплектующими. Для крупногабаритных моделей необходимы дорогостоящие запчасти и двигатели. А вот для мелкогабаритных моделей можно использовать детали для авиамоделизма, а также мелкую электронику, что значительно дешевле и доступнее. К сожалению, из-за использования таких комплектующих у данных летательных аппаратов довольно низкий КПД. Обычно полного заряда батареи хватает не более чем на 20 минут полета – и это один из самых высоких показателей, обычно эта цифра меньше. Однако,

если посмотреть на область применения таких летательных аппаратов, то можно утверждать, что перспективы развития у них есть, и востребованность тоже. Применяются они для аэрофотосъемки. Например, если необходимо получить фотографии с высоты при чрезвычайном происшествии, то гораздо дешевле и быстрее воспользоваться квадрокоптером, чем использовать настоящий вертолет, который еще и не всегда сможет долететь до нужной точки.

Наиболее известным среди квадрокоптеров является DJI Phantom китайского производителя DJI Innovations. Он оснащен камерой, способной снимать с разрешением 4K, обеспечивая отличное качество изображения. Оператор может управлять положением камеры независимо от управления коптером. То есть квадрокоптер может зависнуть в воздухе в какой-то точке, а дальше оператор настраивает положение камеры по двум осям. Изображение с камеры транслируется в реальном времени на монитор оператора. Есть возможность замены стандартной камеры на другую. По заявлению производителей, коптер может подниматься на высоту до 500 метров относительно точки взлета и принимать сигнал на расстоянии до двух километров. В случае потери управления DJI Phantom возвращается «домой» – в точку, откуда он взлетел. Для этого он оснащен системой GPS. При этом полет и посадка происходят автоматически, без участия оператора. Также для разработчиков ПО есть средства и библиотеки для программирования собственного поведения дрона. Даже при стоимости от 70 000 до 100 000 рублей он может успешно использоваться при чрезвычайных происшествиях [2] (рис. 5).



Рис. 5. Квадрокоптер DJI Phantom 3

К сожалению, все перечисленные летающие роботы управляются человеком. Автопилот включается только в случае потери управления.

### 3. ШАГАЮЩИЕ РОБОТЫ

Шагоходы, или шагающие роботы, – разнообразные механизмы, передвигающиеся с помощью ног. Ввиду технических сложностей исполнения не получили пока в реальной жизни большого распространения. Из используемых на практике механизмов можно назвать шагающие экскаваторы. В качестве базы у таких роботов выступают ноги. Основной задачей является разработка конструкции ног, а также алгоритм удержания равновесия. Существует несколько вариантов.

#### 3.1. ДВУНОГИЕ И ЧЕТЫРЕХНОГИЕ РОБОТЫ

Данные роботы копируют людей или четвероногих животных, например коней или собак. В этом преуспели японские разработчики, в частности компания Honda со своим известным роботом Asimo. Также в Японии работают над роботами, которые имитируют мимику человека, и уже сейчас можно говорить о хорошем сходстве (рис. 6).

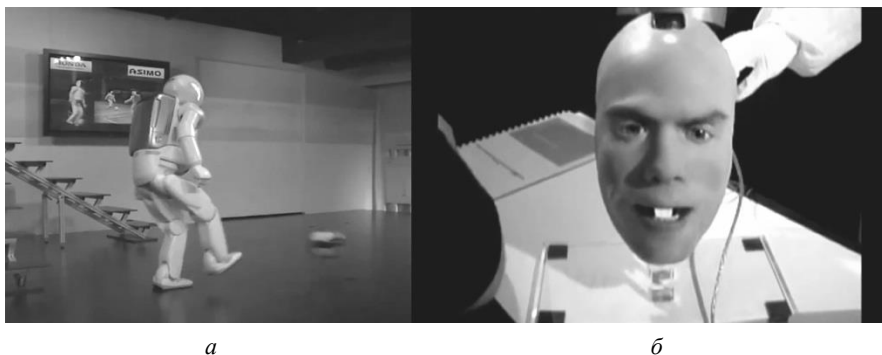


Рис. 6. Робот Asimo фирмы Honda (а); робот имитирующий мимику человека (б)

Также стоит отметить компанию Boston Dynamics, работающую по заказу военных США. В первую очередь они известны своим четвероногим роботом BigDog. По демонстрационным материалам видно, что данный робот может удерживать равновесие даже после толчка ногой, а также может развивать скорость до 25 миль в час (рис. 7). В Boston Dynamics ведутся работы еще и над созданием двуногих роботов. Здесь также можно отметить определенные успехи.

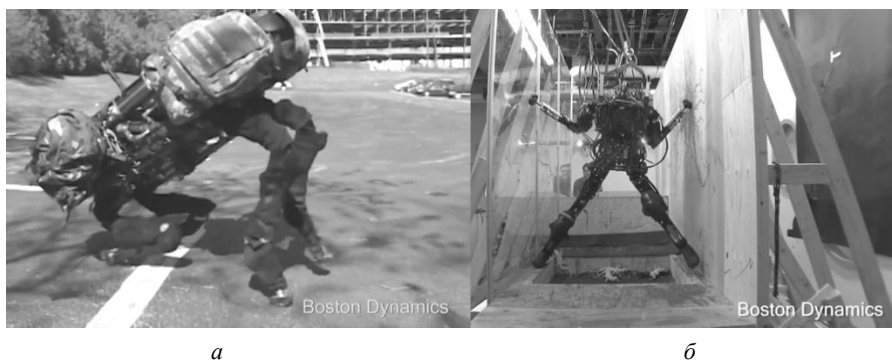


Рис. 7. Робот BigDog от компании Boston Dynamics пытается удержать равновесие после удара в бок (а); человекоподобный робот от компании Boston Dynamics проходит через отверстие в полу (б)

### 3.2. ШЕСТИНОГИЕ И ВОСЬМИНОГИЕ РОБОТЫ

Эти роботы, которых еще называют hexapod и octopod соответственно, имитируют способ передвижения насекомых и паукообразных. Это достаточно новый тип шагающих роботов, который начал развиваться совсем недавно. Задачи, которые ставят перед собой разработчики, – это плавное перемещение, наиболее похожее на живые аналоги. Сложностью является сама конструкция конечностей, выбор материалов и комплектующих. Однако уже сейчас существуют интересные примеры таких роботов.

Например, робот-паук T8 от компании Robugtix. Этот паук интересен тем, что максимально точно повторяет движения и гибкость настоящих пауков. Он основан на движке обратной кинематики Bigfoot, который включает в себя весь математический аппарат, необходимый для контроля многоногих роботов. Все конструктивные элементы распечатаны на 3D-принтере. Передвижение робота обеспечивают 26 серводвигателей, питающихся от четырех пальчиковых никель-магниевого аккумуляторов (рис. 8).

Следующий интересный представитель – это робот MorphHex. Автор данного робота – норвежский робототехник Kare Halvorsen. Он примечателен тем, что способен менять конфигурацию своей конструкции. Из робота-паука он может превратиться в робот-шар. При этом он способен управляемо передвигаться в своем шарообразном исполнении. Такая трансформация обеспечивается за счет специальных пластиковых накладок, которые крепятся к внешней стороне конечностей робота (рис. 9).





Рис. 8. Робот-паук T8 от компании Robugtix



Рис. 9. Робот MorphHex

Еще один робот, который заслуживает внимания, – *Aganho Robo*. Данный робот способен карабкаться по вертикальным стенам с неровной структурой за счет конечностей с небольшими крючками (по аналогии с живыми пауками) (рис. 10).

Студенты из МИТ разработали робота, который основывается на способности морской звезды восстанавливать утраченные конечности. Суть работы заключается в том, что они научили робота самостоятельно вырабатывать новые стили ходьбы при потере конечностей.

Одним из самых завораживающих представителей этого класса является робот *Mantis*. В отличие от предыдущих примеров, размеры этого робота в размахе лап составляют около 5 метров. Управляется он человеком. Вместо серводвигателей используется гидравлика, а вместо аккумуляторов – турбо-

дизельный двигатель. Примечательно, что давление, оказываемое конечностью на поверхность, такое же, как если бы на этом месте стоял человек. Правда, есть у него и недостаток – пока он достаточно неуклюжий и передвигается медленнее, чем идущий человек (рис. 11).

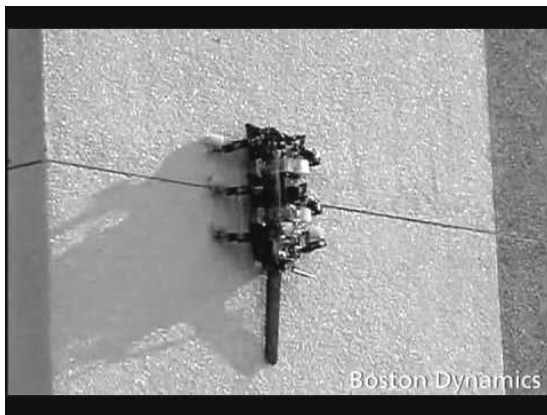


Рис. 10. Aranhoboto



Рис. 11. Робот Mantis

#### 4. ПЛАВАЮЩИЕ РОБОТЫ

По каким-то причинам плавающие роботы не пользуются в данный момент особой популярностью, во всяком случае среди начинающих и любителей. Однако, работы в данном направлении все же ведутся. Особый интерес представляет создание механизма, способного двигаться подобно рыбам. По подсчетам ученых, такой способ передвижения на 80 % эффективнее, чем с обычным гребным винтом. Кроме того, такие конструкции создают меньше шума при движении и отличаются повышенной маневренностью.

Из существующих разработок хотелось бы выделить робота-змею. Он был создан инженерами японской лаборатории Hirose Fukushima по образу и подобию обычной змеи. Он без особых проблем движется в водной стихии. Движение подобное змее было достигнуто благодаря модульной конструкции робота. Робот-змея состоит из отдельных секций. Стоит отметить, что каждая секция имеет свой управляющий процессор и независимое питание. Благодаря такому сложному устройству секций каждый модуль может работать независимо от других. Можно отсоединить или присоединить к змее столько секций, сколько необходимо, и способность передвигаться не поменяется. Важным преимуществом ACM-R5 является его способность работать в автономном режиме, т. е. без вмешательства человека в его управление [8] (рис. 12).

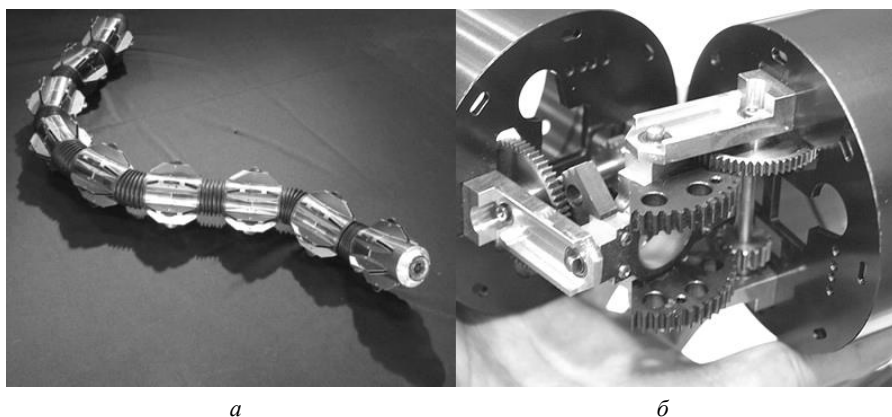


Рис. 12. Робот ACM-R5 (а); конструктивный элемент робота ACM-R5 (б)

На самом деле существует не одна разработка роботов с передвижением, подобным змее. Разработчики полагают, что такое передвижение позволит механическому устройству двигаться в узких пространствах, что

позволит использовать его при поиске людей под обломками рухнувших зданий. Также роботы, способные плавать под водой, как АСМ-R5, могут использоваться для спасательных, поисковых и ремонтных операций под водой.

## 5. РОБОТЫ-МАНИПУЛЯТОРЫ

Данный тип роботов известен уже давно и успешно применяется при автоматизации линий производства. Как правило, задача такого робота заключается в минимальном количестве действий – перевернуть либо переместить деталь. Но среди этих роботов в последнее время также появляются интересные нововведения.

Рассмотрим манипуляторы с управляемым изгибом. Основным вопросом данной разработки является конструкция манипулятора. Наиболее распространены манипуляторы, в которых изгиб звеньев осуществляется путем изменения давления воздуха в полостях деформируемых элементов, которые разделены на два и более независимых сегмента. Самая известная конструкция такого манипулятора реализована инженерами фирмы Festo и позиционируется ими как бионический манипулятор, повторяющий движение хобота слона [5] (рис. 13).

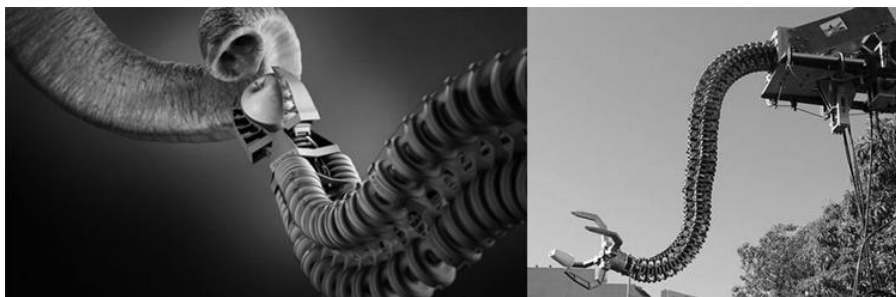


Рис. 13. Бионический манипулятор фирмы Festo (а); SRL Spine Robot (б)

Также стоит отметить srl spine robot, разработанный энтузиастами из Survival Research Labs из США. Их манипулятор устроен по похожему принципу.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно с уверенностью сказать, что в настоящее время область робототехники переживает существенный рост благодаря доступности, распространенности и стандартизации комплектующих. Также этому сильно способствуют текстовые и видеоматериалы, которые доступны и полезны как для начинающих, так и для опытных разработчиков.

Среди всех видов, перечисленных в статье, нельзя выделить какой-то один, который является более перспективным. По сути, все они реализуют одну большую систему, но по отдельности. То есть если разработать программу, которая будет находить и преодолевать препятствия в случае ездящих роботов, то это же приложение при небольших изменениях может быть встроено в другие типы роботов. Таким образом, разработчик может сконцентрировать внимание только на том, что ему необходимо, не обращая особого внимания на конструкцию, материалы либо программное обеспечение. Но в конечном итоге все это можно свести воедино.

Стоит также отметить тот факт, что лидерами в данной области являются США, Китай и Япония. К сожалению, среди представленных в Интернете примеров, которые бы выделялись чем-то на общем фоне, российских роботов не нашлось. Скорее всего это связано с тем, что интерес разработчиков из нашей страны к этой области пока только набирает обороты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вандербильт Т.* Трафик: психология поведения на дорогах. – М.: Эксмо, 2013. – 432 с.
2. *Юревич Е.И.* Основы робототехники: учебное пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 368 с.
3. *Хиросэ Ш.* Бионические роботы: змееподобные мобильные роботы и манипуляторы. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. – 272 с.
4. *Рыбак Л.А., Ержуков В.В., Чичварин А.В.* Эффективные методы решения задач кинематики и динамики робота-станка параллельной структуры. – М.: Физматлит, 2011. – 148 с.
5. *Булгаков А.Г., Воробьев В.А.* Промышленные роботы: кинематика, динамика, контроль и управление. – М.: Солон-Пресс, 2007. – 488 с. – (Библиотека инженера).
6. БЛИА Т23Э: беспилотный летательный аппарат [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.enics.ru/detail?product\\_id=20](http://www.enics.ru/detail?product_id=20) (дата обращения: 17.11.2015).

7. Военная и специальная робототехника для России: обзор производителей роботов и их продукции [Электронный ресурс]. – URL: <http://sa100.ru/robots2/manufacturer/Russia/Obzor/RusMan1.htm> (дата обращения: 17.11.2015).

8. *Филаретов В.Ф., Лебедев А.В., Юхимец Д.А.* Устройства и системы управления подводных роботов. – М.: Наука, 2005. – 270 с.

9. *Коротиков С.В., Воевода А.А.* Применение сетей Петри в разработке программного обеспечения центров дистанционного управления и контроля // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2007. – № 4. – С. 15–32.

10. *Воевода А.А., Марков А.В., Романников Д.О.* Разработка программного обеспечения: проектирование с использованием UML диаграмм и сетей Петри на примере АСУ ТП водонапорной станции // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 3 (34). – С. 218–231.

11. *Воевода А.А., Романников Д.О.* Способы представления программ и их анализ // Сборник научных трудов НГТУ. – 2014. – № 3 (77). – С. 81–99.

12. Handbook of automated reasoning / J.A. Robinson, A. Voronkov, eds. – Amsterdam: Elsevier Science; Cambridge: The Mit Press, 2001. – 2150 p.

13. *Воевода А.А.* Стабилизация двухмассовой системы: модальный метод синтеза с использованием полиномиального разложения // Научный вестник НГТУ. – 2010. – № 1 (38). – С. 195–198.

14. *Воевода А.А., Зимаев И.В.* Верификация workflow-моделей с применением сетей Петри // Научный вестник НГТУ. – 2010. – № 4 (41). – С. 151–154.

**Гноевой Андрей Валерьевич**, соискатель кафедры автоматике Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – робототехника, электроника. E-mail: [andrey2455@gmail.com](mailto:andrey2455@gmail.com)

**Прыткова Оксана Владимировна**, заместитель директора УЦИТ «Информатика» Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – сети Петри, нейронные сети. E-mail: [ucit@ucit.ru](mailto:ucit@ucit.ru)

## Review robotic devices\*

A.V. Gnoevoi<sup>1</sup>, O.V. Prytkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 630073, Russia, Novosibirsk, PR. Karla Marksa, 20, Novosibirsk state technical University, applicant. E-mail: andrey2455@gmail.com

<sup>2</sup> 630073, Russia, Novosibirsk, PR. Karla Marksa, 20, Novosibirsk state technical University, Deputy Director. UCIT "Informatics". E-mail: ucit@ucit.ru

This article will discuss the main trends in modern robotics. For this purpose, it is necessary to classify robots. They can be grouped by many ways. According to the tasks they perform, the presence or absence of the operator, the type of MCU to be used, in size as well as amateur or commercial development. In this article, the robots will be grouped according to the type of movement. It riding, flying, floating, walking robots, and robots-manipulators. Will discuss the benefits and application of robots. It will also consider the challenges posed in front of developers designing these types of robots. For each type are examples of that at the moment of interest in the program or design components.

**Keywords:** robotics, walking robots, flying robots, robots riding, floating robots oktopods, hexapods, artificial intelligence

DOI: 10.17212/2307-6879-2015-3-98-113

## REFERENCES

1. Vanderbilt T. *Traffic: why we drive the way we do (and what it says about us)*. New York, Knopf, 2008. 402 p. (Russ. ed.: Vanderbil't T. *Trafik: psikhologiya povedeniya na dorogakh*. Moscow, Eksmo Publ., 2013. 432 p.).
2. Yurevich E.I. *Osnovy robototekhniki* [The basics of robotics]. St. Petersburg, BVH-Petersburg Publ., 2010. 368 p.
3. Hirose S. *Biologically inspired robots: snake-like locomotors and manipulators*. Oxford, Oxford University Press, 1993. 220 p. (Russ. ed.: Khirose Sh. *Bi-onicheskie roboty: zmeepodobnye mobil'nye roboty i manipulyatory*. Izhevsk, Institute of Computer Science Publ., 2014. 272 p.).
4. Rybak L.A., Erzhukov V.V., Chichvarin A.V. *Effektivnye metody resheniya zadach kinematiki i dinamiki robota-stanka parallel'noi struktury* [Efficient methods for solving kinematics and dynamics of robot-machine parallel structure]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2011. 148 p.
5. Bulgakov A.G., Vorob'ev V.A. *Promyshlennye roboty: kinematika, dinamika, kontrol' i upravlenie* [Industrial robots: kinematics, dynamics, control and management]. Moscow, Solon-Press Publ., 2007. 488 p.
6. *BLA T23E: bespilotnyi letatel'nyi apparat* [T23E UAV: unmanned aerial vehicle]. Available at: [http://www.enics.ru/detail?product\\_id=20](http://www.enics.ru/detail?product_id=20) (accessed 17.11.2015)

---

\* Received 19 June 2015.

7. *Voennaya i spetsial'naya robototekhnika dlya Rossii: obzor proizvoditelei robotov i ikh produktii* [A military and express robotics for Russia: review of robot manufacturers and their products]. Available at: <http://sa100.ru/robots2/manufacturer/Russia/Obzor/RusMan1.htm> (accessed 17.11.2015)

8. Filaretov V.F., Lebedev A.V., Yukhimets D.A. *Ustroistva i sistemy upravleniya podvodnykh robotov* [Devices and control systems for underwater robots]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 270 p.

9. Korotikov S.V., Voevoda A.A. *Primenenie setei Petri v razrabotke programmogo obespecheniya tsentrov distantsionnogo upravleniya i kontrolya* [Using Petri nets in software development of remote monitoring and control center]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science Bulletin of the Novosibirsk State Technical University*, 2007, no. 4, pp. 15–32.

10. Voevoda A.A., Markov A.V., Romannikov D.O. *Razrabotka programmogo obespecheniya: proektirovanie s ispol'zovaniem UML diagramm i setei Petri na primere ASU TP vodonapornoj stantsii* [Software development: software design using UML diagrams and Petri nets for example automated process control system of pumping station]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*, 2014, iss. 3 (34), pp. 218–231.

11. Voevoda A.A., Romannikov D.O. *Sposoby predstavleniya programmi i ikh analiz* [Methods of program representation and analysis]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2014, no. 3 (77), pp. 81–98.

12. Robinson A., Voronkov A., eds. *Handbook of automated reasoning*. Amsterdam, Elsevir Science, Cambridge, The Mit Press, 2001. 2150 p.

13. Voevoda A.A. *Stabilizatsiya dvukhmassovoi sistemy: modal'nyi metod sinteza s ispol'zovaniem polinomial'nogo razlozheniya* [Stabilisation of two-mass system by a modal method of synthesis with polynomial factorization]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science Bulletin of the Novosibirsk State Technical University*, 2010, no. 1 (38), pp. 195–198.

14. Voevoda A.A., Zimaev I.V. *Verifikatsiya workflow-modelei s primeneniem setei Petri* [Verification of workflow-models using Petri-nets] *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science Bulletin of the Novosibirsk State Technical University*, 2010, no. 4 (41), pp. 151–154.