

Антропоморфные роботы как новая сфера применения гидроприводов

© Б.Б. Кулаков¹, Д.Б. Кулаков², В.В. Беляев^{3,1}

¹ Российский университет дружбы народов, Москва, 117198, Россия;

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия;

³ Московский государственный областной университет, Москва, 105005, Россия

Проведен обзор шагающих роботов, выпускаемых в России и за рубежом. Показаны тенденции внедрения антропоморфных роботов в человеческое общество. Сделаны выводы о новых направлениях развития гидроприводов, определяемых спецификой работы антропоморфных шагающих роботов.

Ключевые слова: двуногие шагающие роботы (ДШР), гидропривод, энергетическая эффективность, экзоскелет.

До появления промышленных роботов считалось, что роботы должны выглядеть подобно людям. Первое использование слова «робот» относилось к человекоподобным машинам, которые должны были служить человеку. Однако с самого начала роботами стали называть фактически все автоматические устройства, предназначенные для осуществления производственных и других операций, обычно выполняемых человеком. Интенсивное развитие роботов началось после окончания Второй мировой войны, что было связано с появлением атомной промышленности. Первый копирующий манипулятор (Master-slave Manipulators, MSM) Model-1, представленный Комиссии по атомной энергетике США в 1949 г., был призван обезопасить работу персонала с радиоактивными препаратами. К роботам в современном представлении (автономное устройство, выполняющее определенную работу в автоматическом режиме) можно отнести аппарат «Луноход-1», созданный в 1966 г. под руководством Г.Н. Бабакина — главного конструктора Машиностроительного завода им. С.А. Лавочкина. Это первый в истории аппарат, работавший на лунной поверхности (1970).

Последняя тенденция развития робототехники сводится к замене людей не только на производстве, но и в военной сфере. Об этом свидетельствует постоянно появляющаяся информация о достижениях ведущих стран мира в разработке военных наземных, подводных роботов и беспилотных летательных аппаратов. В настоящее время начинается эпоха развития человекоподобных двуногих шагающих роботов (ДШР).

Антропоморфные ДШР предназначены для работы в среде, приспособленной для человека (здания и сооружения, которые проектировались под параметры человека; кабины управления уже созданных машин). Такие ДШР могут работать со всеми видами существующих инструментов и устройств, используя органы управления, приспособленные для людей. Недавние события на АЭС «Фукусима» показали необходимость в этих роботах для ликвидации последствий техногенных катастроф. В настоящее время Управлением перспективных исследовательских проектов Пентагона (DAPRA) объявлен конкурс (DAPRA robotics challenge) на лучший проект робота, способного заменить человека в опасных зонах, в том числе при ликвидации последствий техногенных аварий и стихийных бедствий. Роботы должны уметь передвигаться по неровной поверхности, подниматься по лестницам, пользоваться обычным и электрическим инструментом, управлять транспортными средствами.

Впервые антропоморфный ДШР был представлен общественности в 1996 г. фирмой HONDA (рис. 1) [1]. Это был автономный робот модели P2, способный передвигаться в режиме динамической ходьбы, подниматься и спускаться по лестницам, выполнять простейшие операции сборки. Однако история развития ДШР фирмы HONDA началась с робота модели E0, созданного в 1986 г. Он мог передвигаться в режиме статической ходьбы, выполняя один шаг за 5 с. В 1987 — 1991 гг. проводились исследования ходьбы людей и животных в целях синтеза ходьбы робота с большими скоростями, а также формирования кинематической структуры его исполнительного механизма и расположения сочленений, обеспечивающих требуемую ходьбу робота.

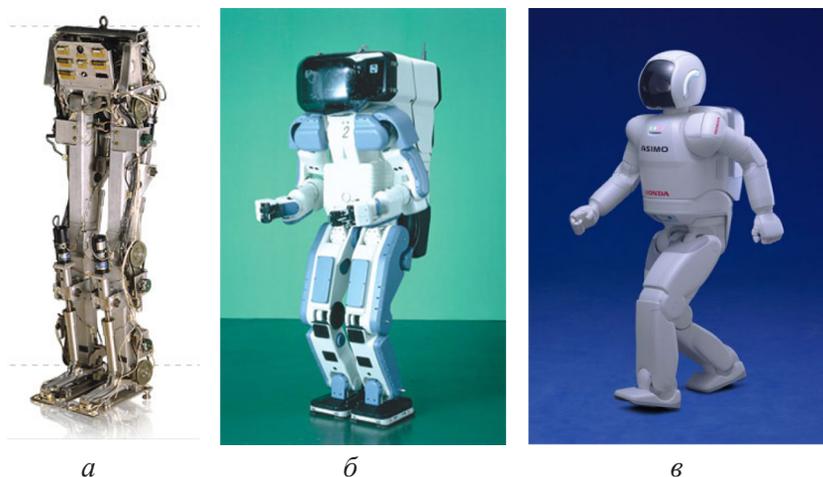
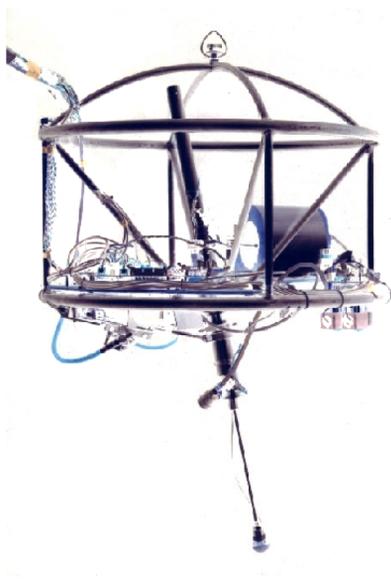


Рис. 1. Роботы фирмы HONDA моделей E0 (1986) (а), P2 (1996) (б) и серии ASIMO (2011) (в)

В этот же период для проведения экспериментальных исследований были созданы роботы моделей E1 — E3, которые могли передвигаться в режиме динамической ходьбы. Скорость передвижения роботов возросла до 3 км/ч. Модель E6 стала автономной. Реализованная на ней система стабилизации путем балансирования корпусом позволяла им перемещаться по лестницам и переступать через препятствия. Скорость передвижения увеличилась до 4,7 км/ч. С 1992 по 1997 г. были созданы человекоподобные роботы моделей P1 — P3 с корпусом и руками. На этих роботах отрабатывалась ходьба и работа в автономном режиме, согласовывались движения рук и ног при ходьбе. У робота модели P3 (1997) за счет децентрализации системы управления и применения новых материалов были уменьшены рост (до 1,6 м) и масса (до 130 кг). С 2000 г. стали изготавливать роботы серии ASIMO, у которых были улучшены ходьба, управление руками, техническое зрение. Характеристики роботов серии ASIMO приведены ниже:

	ASIMO (2000)	ASIMO (2004)	ASIMO (2005)	ASIMO (2011)
Масса, кг	52		54	48
Высота, см	120		130	130
Скорость, км/ч: ходьбы	1,6	2,5	2,7	
бега	—	3	6	9
Время, с: отрыва от земли	—	0,05	0,08	—
работы	30	до 1 ч (в режиме ходьбы)		—
Число степеней свободы	26		30	57

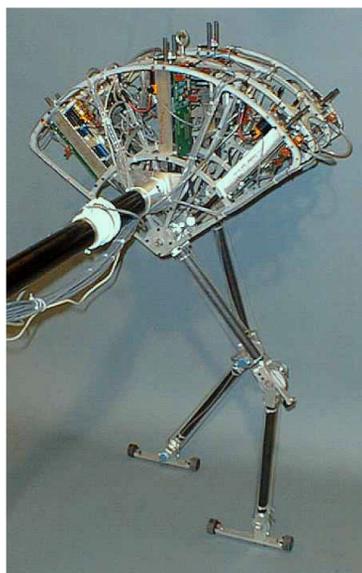
Наибольших успехов в области создания шагающих роботов с робастной системой управления добились специалисты компании Boston Dynamics, возглавляемой М. Райбертом. Наиболее известные их работы — четырехногий робот BigDog и двуногий Petman. Управление ходьбой этих машин основано на принципах, открытых и исследованных на одноногом прыгающем роботе 3D_hopper (1983) (рис. 2, а) [2]. После определения и обобщения информации о походке людей и котов, чтобы обнаружить законы симметрии, в 1984 г. был создан четырехногий робот, который бежит рысью (рис. 2, б). С 1996 по 2000 г. команда Дж. Пратта («Лаборатория ног» Массачусетского технологического института) разработала плоскостный двуногий робот «Упругий фламинго» (рис. 2, в). Этот робот с помощью управления по моментам в стопах мог ходить по заранее неизвестной ему опорной поверхности, имеющей подъемы и спуски.



a



б



в

Рис. 2. Одноногий прыгающий робот (*a*), четырехногий робот, бегущий рысью (*б*), и двуногий робот «Упругий фламинго» (Spring Flamingo) (*в*)

В 2005 г. представлен динамически устойчивый четырехногий робот (рис. 3, *a*), созданный совместно компаниями Boston Dynamics и Foster-Miller, Лабораторией реактивного движения (НАСА) и Harvard University Concord Field Station при финансовой поддержке DAPRA [3].

Длина робота BigDog 0,91 м, высота 0,76 м, масса 110 кг. В каждой ноге установлено четыре гидропривода (рис. 3, *в*): два — для бедрен-



а



б



в

Рис. 3. Динамически устойчивые четырехногие роботы BigDog (2005) (а) и AlphaDog (2012) (б), гидропривод робота BigDog (в)

ного сустава, и по одному — для коленного и голеностопного суставов. Гидропривод состоит из гидроцилиндра, сервозолотника, датчиков положения и усилия. Давление питания 200 атм. Бортовой компьютер робота представляет собой упрочненный вариант платформы PC/104 с процессором класса Pentium под управлением операционной системы QNX. Робот оснащен устройством стереозрения, оптическим радаром, гиродатчиками и т. д. В настоящее время он способен передвигаться по труднопроходимой местности со скоростью 6,4 км/ч, перевозить 154 кг груза, подниматься на наклонную плоскость с углом наклона 35° , бежать трусцой со скоростью 9,6 км/ч, преодолевать расстояние 19,3 км.

Эволюция робота BigDog привела к созданию в 2012 г. робота LS3 (рис. 3, б), или AlphaDog, — шагающей системы поддержки боевого подразделения. Эти роботы должны поступить на вооружение Морской пехоты США в 2014 г.

В 2012 г. создан робот «Гепард» (Cheetah), оснащенный гидроприводами (рис. 4), — самый быстрый бегущий робот, скорость которого превышает 47 км/ч. Предыдущий рекорд скорости 21 км/ч установлен в Массачусетском технологическом институте в 1989 г. Существующая версия робота «Гепард» бежит по высокоскоростной беговой дорожке в лаборатории, где робот запитывается от внешней насосной станции. Ро-

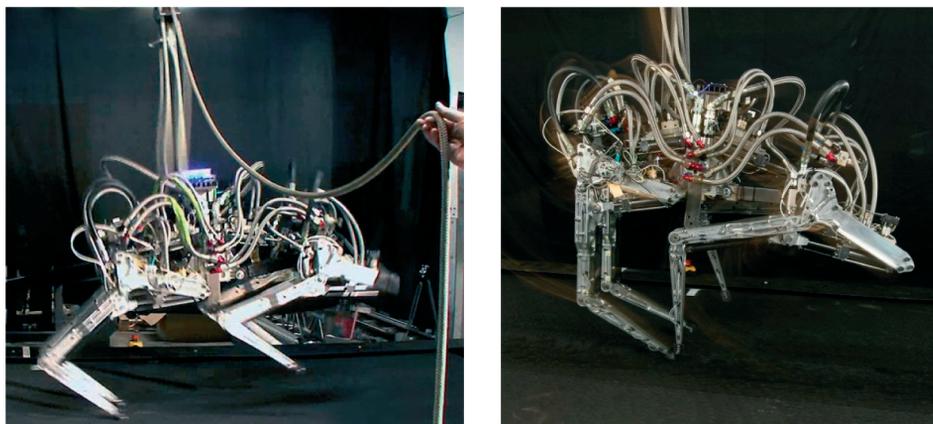


Рис. 4. Робот «Гепард» (2012)

бот разработан в рамках программы DAPRA «Максимум мобильности и манипуляции». Утверждается, что программа носит фундаментальный характер и не ориентирована на конкретные военные задачи. Ее цель — исследования по наращиванию возможностей роботов в целом. Однако признается, что в ходе выполнения этой программы используемые технологии могут иметь широкий диапазон военного применения.

В 2009 г. был представлен двуногий робот Petman (рис. 5, а). Ноги и гидроприводы этого робота взяты от робота BigDog. Робот ходит походкой человека по беговой дорожке со скоростью 5,2 км/ч, устойчив к внешним силовым воздействиям (в виде сильных боковых толчков, приводящих к изменению траектории его движения). В марте 2012 г. были продемонстрированы новые возможности робота Petman. Робот имел «полноценные» корпус и руки. Скорость его ходьбы возросла до 8 км/ч. В 2013 г. на официальном сайте компании Boston Dynamics была выложена видеoinформация об очередном варианте робота Petman (рис. 5, б).

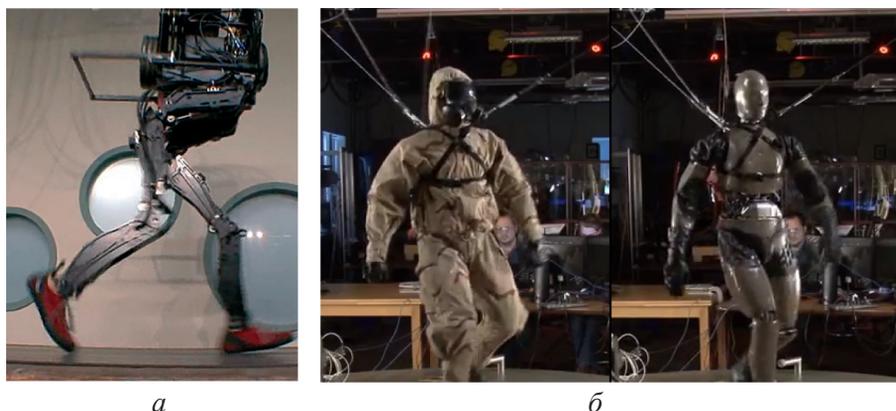


Рис. 5. Роботы Petman модели 2009 (а) и 2013 г. (б)

Анализируя скорость развития рассматриваемого проекта можно с уверенностью утверждать, что в ближайшем будущем в армии США появится полноценный робот-солдат, приспособленный для работы и ведения боевых действий с помощью всех видов имеющегося вооружения современной армии.

В России задачами антропоморфных роботов занимаются МГУ им. М.В. Ломоносова, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НПО «Андроидная техника». Среди наиболее известных работ можно выделить шестиногую машину (рис. 6, а) и двуногий пятизвенный шагающий робот (рис. 6, б), разработанные в Институте механики МГУ им. М.В. Ломоносова.

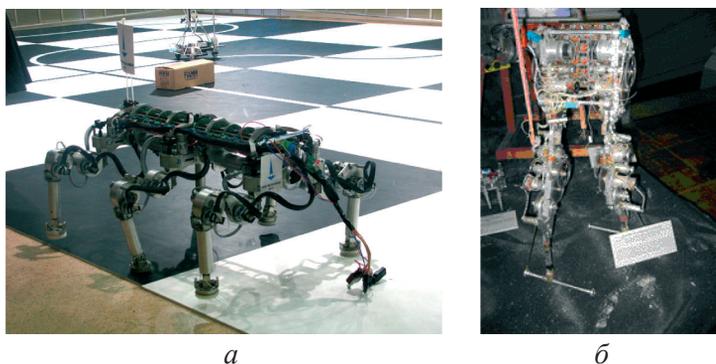


Рис. 6. Шестиногая машина (а) и двуногий робот (б), разработанные в МГУ им. М.В. Ломоносова

Двуногий пятизвенный шагающий робот сконструирован в 1994 г. А.А. Гришиным, С.В. Житомирским, А.В. Ленским и А.М. Формальским [4 — 6]. Аппарат управляется четырьмя электроприводами: двумя — в коленных суставах, двумя — в тазобедренных. В голених установлены датчики усилий, с помощью которых измеряются реакции опоры, приложенные к ногам механизма. Алгоритм управления обеспечивает ходьбу аппарата [7]. Особенностью шестиногого робота является то, что на нем реализована обратная связь по силе, действующей на каждую ногу робота.

На кафедре «Гидромеханика, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» МГТУ им. Н.Э. Баумана решаются задачи по разработке исполнительных механизмов ДШР, оснащенных гидравлическими сервоприводами, и проводятся исследования работы гидроприводов при ходьбе робота. Сотрудниками кафедры были созданы гидравлический роботизированный манекен для испытания костюмов химической защиты и ДШР для исследования управления антропоморфными шагающими роботами с электрогидравлическими приводами в режиме динамической ходьбы [8, 9] (рис. 7). На роботизированном манекене (создан в 1991 г. С.Е. Семеновым под руководством А.К. Ковальчука) проводи-

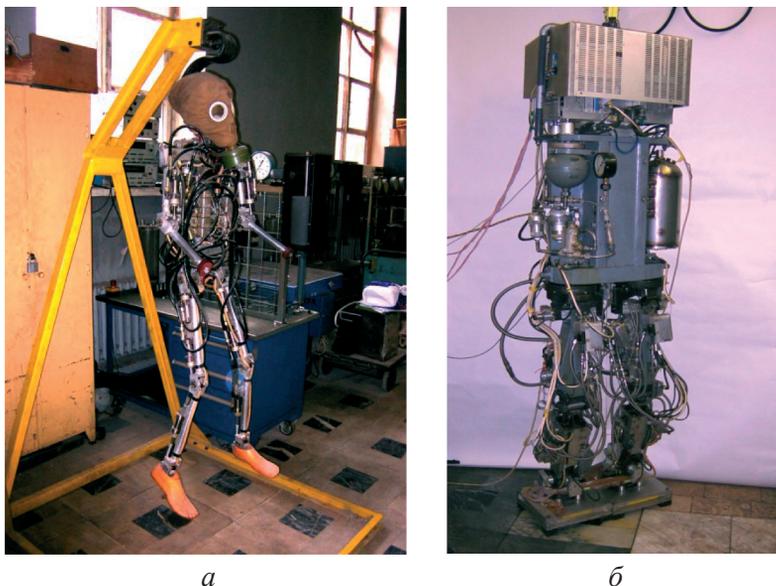


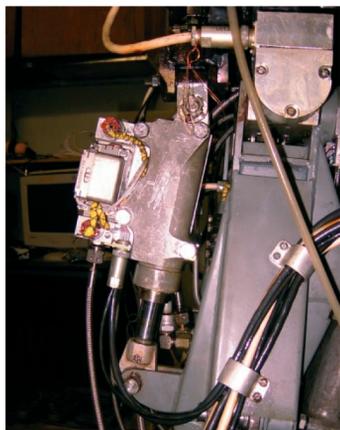
Рис. 7. Роботизированный манекен (а) и ДШР (б), разработанные в МГТУ им. Н.Э. Баумана

лись исследования законов управления электрогидравлическими приводами, обеспечивающих человекоподобные движения антропоморфных исполнительных механизмов.

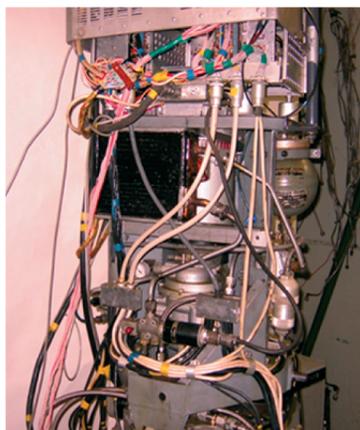
Исполнительный механизм ДШР (2009), разработанный С.Е. Семеновым, Д.Б. Кулаковым под руководством А.К. Ковальчука, имеет 12 степеней свободы, оснащен гидравлическими следящими сервоприводами (рис. 8). Высота исполнительного механизма ДШР составляет 2,2 м, масса 220 кг. В корпусе ДШР размещены насосная станция, аппаратура системы управления и системы ориентации (см. рис. 8). Энергопитание осуществляется по кабелю от внешнего источника электроэнергии. Для управления гидравлическими сервоприводами был разработан программный комплекс системы управления (на базе операционной системы QNX), позволяющий распределять вычислительные задачи, решаемые в реальном времени, между несколькими ЭВМ, которые связаны друг с другом компьютерной сетью Ethernet [10].

На ДШР исследовалась работа системы гидравлических сервоприводов, установленных на исполнительном механизме робота, с учетом микрогеометрии золотниковых пар. Была реализована система стабилизации ходьбы по заданной траектории с управлением моментами, действующими на стопы робота со стороны опорной поверхности; проведены экспериментальные исследования режимов статической и динамической ходьбы ДШР по горизонтальной поверхности [11].

Для замены человека при выполнении работ в открытом космическом пространстве специалисты фирмы General Motors совместно со специалистами НАСА создали робот Robonaut-2 (рис. 9, а).



a



б

Рис. 8. Гидравлический следящий сервопривод (*a*) и насосная станция ДШР (*б*)



a



б

Рис. 9. Робот Robonaut-2 компании General Motors (*a*) и SAR-400 НПО «Андроидная техника» (*б*)

Робот представляет собой человекоподобную фигуру, на руках у которой есть пять пальцев с суставами наподобие человеческих пальцев. Машина умеет писать, захватывать и складывать предметы, держать тяжелые вещи, например гантель массой 9 кг. Робот пока не имеет нижней половины тела. В шлем Robonaut-2 вмонтированы четыре видеокамеры, с помощью которых робот не только ориентируется в пространстве, но и транслирует с них сигналы на мониторы диспетчеров. Общее число датчиков и сенсоров превышает 350 штук. Шея робота имеет три степени свободы, а каждая из рук, размах которых 244 см, — семь степеней свободы. Кисти устройства имеют 12 степеней свободы. Каждый палец выдерживает нагрузку до 2,3 кг. В корпусе робота находится вычислительный центр, в его состав входят 38 процессоров PowerPC. Масса Robonaut-2 составляет 150 кг, рост 1 м. На спине робота размещается рюкзак с энергетической системой. Robonaut-2 был отправлен на Международную космическую станцию

(МКС) 24 февраля 2011 г. на борту шаттла «Дискавери» STS-133 и будет постоянно функционировать на станции. Цель запуска робота — проверка его работоспособности в условиях невесомости, изучение влияния на его работу космического и электромагнитного излучения.

По заказу Роскосмоса в НПО «Андроидная техника» создан антропоморфный робот-космонавт SAR-400 (рис. 9, б) для работы на МКС в качестве помощника космонавта. Проведение космического эксперимента планируется в 2014 г. Таким образом, роботы стали полностью соответствовать первоначальному определению и перспектива замены человека во всех областях его трудовой деятельности возможна.

Сейчас создалась ситуация, когда есть все предпосылки для робототехнической революции:

- потребности рынка в массовом внедрении роботов в сферу жизнедеятельности человека;
- достаточный уровень развития технологии и мощностей производства для налаживания массового производства роботов роботами.

Рынок требует удешевления труда, а большинство людей выполняют однообразную монотонную работу. Уже сейчас правительство Японии рассматривает возможности замещения пустых рабочих мест роботами. По данным специалистов, к 2025 г. роботы смогут заполнить 3,5 млн вакансий на рынке труда Японии. Предполагается, что роботы будут помогать ухаживать за пожилыми людьми, чистить в клиниках (высокотехнологичные пылесосы), читать детям книги в детских учреждениях, т. е. заменят медсестер, уборщиков мусора, воспитателей и т. д. При этом главным фактором такой замены является экономический фактор. Так, в результате замены людей роботами Япония сэкономит 21 млрд долл. При этом подчеркивается, что для реализации этого проекта необходимо значительное уменьшение стоимости роботов.

В том, что стоимость роботов будет снижена, а их характеристики улучшатся до уровня, необходимого для их массового внедрения в человеческое общество, сомневаться не приходится. Этому способствуют:

- постоянно растущий уровень технологического развития производства;
- минимизация размеров и совершенствование электронных комплектов;
- повышение вычислительной мощности ЭВМ;
- усовершенствование элементов питания (по последним данным, в ближайшее время будут серийно выпускаться литиевые аккумуляторы, емкость которых вырастет на порядок);

- насыщенность современного производства робототехническими комплексами, позволяющими обеспечивать массовый выпуск высокотехнологичной продукции при минимальном вмешательстве человека;
- развитие алгоритмов управления как одиночными роботами, так и группами роботов.

В качестве примеров возрастающего технологического уровня производства можно привести достижения в области создания электрических аккумуляторов и электродвигателей, основанных на свойствах высокотемпературной сверхпроводимости.

Команда ученых Стенфордского университета разработала новый электрод — анод на основе кремниевых нанотрубок с двойными стенками, теоретически позволяющий увеличить емкость литий-ионных батарей в 10 раз, а срок службы — в 6 раз.

Ученые Вашингтонского университета под руководством профессора механики и материаловедения Г. Нортон создали и запатентовали новую технологию, которая поможет утроить емкость литий-ионных батарей, увеличить срок их службы и заряжать их в несколько раз быстрее. По прогнозам исследователей, изобретение должно в течение года выйти на рынок.

Об успехах в областях автономного энергоснабжения и оптимального управления гидроприводами свидетельствует серийно выпускаемый автономный роботизированный экзоскелет Berkeley Bionics (ExoNiker) (рис. 10) с гидроприводами. Он позволяет полностью разгружать человека, переносящего груз массой до 70 кг. При этом система энергоснабжения от бортовых аккумуляторов дает возможность человеку с грузом перемещаться на расстояние до 67 км. Масса экзоскелета составляет 14 кг.

Следовательно, на современном этапе развития робототехники задачи, которые необходимо решать для создания шагающих роботов следующего поколения, переходят в область таких разделов науки, как кибернетика и мехатроника. К примеру, синергетический синтез как системы управления, так и механико-приводной части роботов, в целях объединения робастности робота BigDog и энергетической эффективности робота Ranger (рис. 11) является одной из следующих задач компании Boston Dynamics, озвученных М. Райбертом на его стэнфордской лекции 12 мая 2010 г.



Рис. 10. Экзоскелет Berkeley Bionics



Рис. 11. Энергетически эффективный робот Ranger на основе пассивной динамики, разработанный в Корнельском университете

Робот Ranger представляет собой практическую реализацию робота, использующего для перемещения пассивную динамическую ходьбу (Passive Dynamic Walking), т. е. ходьбу в основном за счет взаимного преобразования собственной механической энергии механизма робота [12]. Параметры энергетической эффективности робота Ranger: мощность 16 Вт, масса 9,91 кг, средняя скорость 2,12 км/ч; максимальное пройденное расстояние на одном заряде батарей 65 км.

По данным Корнельского университета, можно сравнить энергетические эффективности автомобиля, человека и ряда передовых шагающих роботов. Энергетическая эффективность (Cost of Transport) представляет собой затрачиваемую энергию в джоулях, приходящуюся на перенос массы 1 кг на расстояние 1 м.

По данным Корнельского университета, можно сравнить энергетические эффективности автомобиля, человека и ряда передовых шагающих роботов. Энергетическая эффективность (Cost of Transport) представляет собой затрачиваемую энергию в джоулях, приходящуюся на перенос массы 1 кг на расстояние 1 м.

Сравнение энергетической эффективности различных объектов

Автомобиль Toyota Prius	0,15
Человек	0,20
Роботы:	
Ranger	0,28
ASIMO	2,00
BigDog	15

В настоящее время при создании шагающих роботов, имеющих практическое применение, наиболее предпочтительны по быстродействию и удельной энергоемкости гидравлические сервоприводы. Однако при их использовании в автономных роботах на первое место выходят вопросы повышения их энергетической эффективности. В качестве примера можно привести данные, полученные в результате анализа энергетической эффективности ДШР, разработанного в МГТУ им. Н.Э. Баумана. На рис. 12 приведены зависимости механической мощности привода бедренного сочленения ДШР и гидравлической мощности потребляемой этим приводом при ходьбе ДШР по горизонтальной поверхности от времени.

Согласно рассмотренным зависимостям, на определенных фазах ходьбы ДШР работа привода отрицательна, при этом привод потребляет энергию от насосной станции, что обуславливает относительно низ-

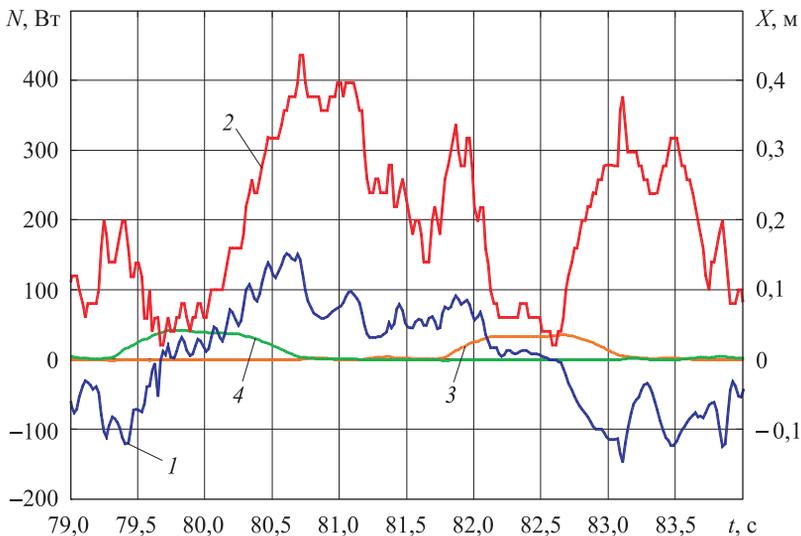


Рис. 12. Зависимости механической мощности $N_{\text{мех}}$ (1) привода бедренного сочленения ДШР и гидравлической мощности потребляемой этим приводом N_r (2) при ходьбе ДШР по горизонтальной поверхности от времени при вертикальной координате центра правой стопы Z_{12} (3) и вертикальной координате центра левой стопы Z_{18} (4)

кий КПД гидроприводов ДШР. Потери энергии происходят в основном вследствие дросселирования рабочей жидкости на кромках золотника и в первом каскаде гидравлического усиления сервопривода. Поэтому можно предположить, что развитие шагающих роботов приведет к развитию теории управления гидравлическими сервоприводами не только с позиции оптимизации по точности и быстродействию, но и по критерию максимальной энергетической эффективности с учетом особенностей работы исполнительных механизмов шагающих роботов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hirose M., Ogawa K. Honda Humanoid Robots Development. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2007, no 365, pp. 11—19.
- [2] Raibert M., Blankespoor K., Nelson G. Rob Playter and the BigDog Team, BigDog, The Rough-Terrain Quadruped Robot. *Proceeding of the 17th World Congress IFAC*, 2008, pp. 10822—10825.
- [3] Greenemeier L. Leggy «BigDog» Robot Set to Step Up for the Military, *Scientific American*, 15 апреля 2008 г. [Электрон. издание].
- [4] Aoustin Y., Formal'sky A.M. Control Design for a Biped: Reference Trajectory Based on Driven Angles as Functions of the Undriven Angle. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2003, vol. 42, no 4, pp. 645—662.
- [5] Chevallereau C., Djoudi D., Formal'sky A. Tracking a Joint Path for the Walk of an Underactuated Biped. *Robotica*, Cambridge University Press, 2004, vol. 22, no 1, pp. 15—28.

- [6] Aoustin Y., Formal'sky A. Postural Control of a Feet-less Biped Vertical Posture Using Limited Torques, *Robotics: Trends Principles and Applications, University of New Mexico*, pp. 485—490.
- [7] Formal'skii A., Ballistic Walking Design via Impulsive Control. *Journal of Aerospace Engineering*, 2010, no 129, pp. 129—138.
- [8] Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семенов С.У. Гидросистема с программным управлением для роботизированного манекена. *Вопросы оборонной техники*, 1997, № 1, сер. 9, вып. 2(219) — 3(220), с. 64 — 66.
- [9] Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е. Формирование упрощенной траектории движения двуногого шагающего робота. *Известия вузов. Сер. Машиностроение*, 2011, № 3, с. 51—58.
- [10] Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е. Принципы построения программного обеспечения системы управления антропоморфным шагающим роботом. *Автоматизация и современные технологии*, 2007, № 2, с. 10—15.
- [11] Ковальчук А.К., Кулаков Б.Б., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е., Яроц В.В. *Основы теории исполнительных механизмов шагающих роботов*. Ковальчук А.К., ред. Москва, Изд-во «Рудомино», 2010, 170 с.
- [12] Bhounsule Pr.A., Cortell J., Ruina A. Design and Control of Ranger: an Energy-efficient, Dynamic Walking Robot. *CLAWAR 2012: Proceeding of the 15th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines*, Baltimore, MD, USA, 23—26 July, 2012, pp. 441—448.

Статья поступила в редакцию 08.06.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Кулаков Б.Б., Кулаков Д.Б., Беляев В.В. Антропоморфные роботы как новая сфера применения гидроприводов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 4. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hydro/682.html>

Кулаков Борис Борисович родился в 1984 г., окончил Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана в 2007 г., заведующий лабораторией в Российском университете дружбы народов (РУДН). Автор 19 научных работ, включая одну монографию и три учебных пособия в области систем автоматического управления. e-mail: BorisKulakov@gmail.com

Кулаков Дмитрий Борисович родился в 1973 г., окончил Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана в 1990 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика». Автор 22 научных работ, включая пять монографий и одно учебное пособие в области исполнительного механизма и систем управления шагающих роботов. e-mail: mitkul@rambler.ru

Беляев Виктор Васильевич родился в 1951 г., окончил Московский физико-технический институт в 1974 г. Д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий кафедрой теоретической физики Московского государственного областного университета (МГОУ), профессор кафедры кибернетики и мехатроники Российского университета дружбы народов (РУДН); директор Российского отделения Международного дисплейного общества, член правления Жидкокристаллического общества «Содружество». Автор 300 научных работ, включая 40 патентов и авторских свидетельств, четыре монографии, четыре учебных пособия. e-mail: vic_belyaev@mail.ru