

Шагающие машины ВолгГТУ (опыт разработки, результаты исследований, практическое применение)

Брискин Е.С., Жога В.В., Малолетов А.В., Чернышев В.В.

(Волгоградский государственный технический университет, dtm@vstu.ru)

Главное конструктивное отличие шагающих машин от колёсных и гусеничных состоит в движителе, обеспечивающем перемещение машины за счёт дискретного взаимодействия опорного звена (ноги) с грунтом, а главное эксплуатационное преимущество — проходимость в тех ситуациях, где колёсные и гусеничные машины не в состоянии передвигаться.

По проходимости, принято шагающие машины разделять на два класса: машины профильной проходимости и машины опорной проходимости.

Машины профильной проходимости обладают возможностями передвижения по пересечённой местности с препятствиями, размеры которых соизмеримы с размерами машины. Движители таких машин и система управления приводами, обеспечивают независимые перемещения опорных точек относительно корпуса в трёх взаимно перпендикулярных плоскостях [1].

Машины опорной (грунтовой) проходимости предназначены для перемещения по слабонесущему грунту по практически ровной поверхности.

Для шагающих машин опорной проходимости основным режимом движения является маршевый режим, для которого характерно почти поступательное движение по слабонесущей поверхности с небольшими уклонами. Требуемые движения звеньев механизмов шагания можно обеспечить как выбором программного управления, так и кинематической схемой механизма шагания и всей машины.

Среди рассмотренных реально существующих машин, машины ASV (США), Ambler (США), Plustech (Финляндия), Mecant (Финляндия) относятся к машинам профильной проходимости, а машины «Восьминог» (рис. 1) и «Кубань» (рис. 2) с шагающими тележками к машинам грунтовой проходимости [2]. По конструктивным особенностям, надёжности, стоимости и простоте эксплуатации «Восьминог» и «Кубань» превосходят зарубежные машины, однако по профильной проходимости они заметно им уступают.



Рис. 1. Шагающая машина «Восьминог».



Рис. 2. Дождевальная машина «Кубань» с шагающими движителями.

С целью улучшения профильной проходимости, осуществления поворота с минимальным проскальзыванием опор на грунте, уменьшения вертикальных колебаний машины на грунте, вызванных несовершенством траектории движения опорной точки механизма шагания, а так же выравнивания горизонтальных скоростей тех же точек вне зависимости от походки машины в Волгоградском государственном техническом университете разработана машина «Восьминог М». Шагающая машина «Восьминог М» сохранила основные конструктивные особенности машины «Восьминог».

Так на каждом из бортов расположены две пары лямбдаобразных четырёхзвенных механизмов шагания с одной степенью подвижности, приводимых в движение одним двигателем. Механизмы шагания каждой пары устанавливаются противофазно и образуют один движитель, а на каждом из бортов, положения переднего левого механизма и заднего правого идентичны. Движители устанавливаются на несущих балках, с одной стороны шарнирно присоединённых к корпусу машины, а с другой — упруго подвешенных в вертикальной плоскости. Объединение двух механизмов шагания в один движитель позволяет применить систему пассивного поддресоривания, хорошо апробированную в практике проектирования колёсных и гусеничных машин, что невозможно, если движитель состоит из одного механизма шагания. Недостатком такого решения является невозможность управления клиренсом и положением корпуса в процессе движения. Однако эта схема позволяет не заботиться о выборе походки и обеспечивает гарантированный контакт с грунтом всех четырёх движителей в пределах хода подвески.

В качестве опор механизмов шагания используется или лыжеобразные стопы с развитой опорной поверхностью, что обеспечивает низкое давление на грунт и способствует увеличению тягово-сцепных свойств по сравнению с колёсным движителем, или копытообразные, что еще в большей степени способствует увеличению тягово-сцепных свойств, но вызывает большее давление на грунт. Сменные стопы соединяются с опорной стойкой механизма шагания с помощью цилиндрического шарнира и поэтому, в целом, механизм шагания получает дополнительную неуправляемую степень свободы. В определенной мере это способствует появлению адаптивных свойств у движителя к неровностям грунта.

При перемещении моногрузов, габариты и масса которых значительно превышает грузоподъемность обычных транспортных средств, выгодно использовать в качестве транспортного средства группу транспортных модулей, объединённых единой целевой задачей в комплекс. Необходимость перемещения грузов по предварительно неподготовленной поверхности, грунтам с низкой несущей способностью и бездорожью позволяет ставить вопрос о возможности применения в качестве транспортного модуля машины с шагающими движителями. Предлагается для перемещения такого рода объектов использовать транспортный комплекс на основе группы шагающих машин «Восьминог» с цикловыми движителями.

Транспортный комплекс модульной структуры состоит из объекта транспортировки (моногруз) и модулей (группа движителей, объединённых общим приводом). Модуль может быть выполнен либо в виде самостоятельного транспортного средства (прототип — шагающая машина «Восьминог»), либо в виде шагающего движителя, предназначенного для работы только в составе комплекса (прототип — дождевальная установка с шагающими тележками, см. рис.2). Особенность применения шагающих машин в качестве транспортных модулей состоит в необходимости учёта походок. Перед системой управления группой шагающих машин ставятся задачи перемещения моногруза из заданного положения в требуемое и обеспечения устойчивости движения и равнонагруженности подвески.

Шагающие машины могут эффективно использоваться для мониторинга окружающей среды. В настоящее время актуальной, сложной и опасной для жизни операторов является задача по обезвреживанию противопехотных мин. Разработанный робототехнический комплекс для обнаружения противопехотных мин функционально состоит из двух частей: электромеханической части робота и центра управления, который размещается в месте, защищенном от возможного поражения взрывных воздействий [3].

Конструктивно робот (рис. 3) представляет собой шагающее шасси, снабженное датчиками системы информационного обеспечения. Сенсорные устройства позволяют фиксировать результаты относительных движений частей робота, которые являются входными параметрами системы управления. Другая группа датчиков позволяет определять положение робота по отношению к внешней среде. Габаритные размеры робота: длина — 2 м, ширина — 0,9 м, высота — 1,2 м. Полная масса аппарата составляет 220 кг, а максимальное давление на грунт зависит от диаметра опорных тарелей и не превышает 0,018 МПа, при диаметре тарелей $D=0,2$ м.

Особенностью предлагаемой конструктивной схемы робота является обеспечение возможности предварительного сканирования профиля проверяемой поверхности и построение ее математической модели с помощью ЭВМ, на основе которой строится программа последующих движений.

Алгоритм управления движением робота предусматривает вмешательство оператора при движении в зоне препятствия типа уступа или канавы, а также в зоне непреодолимого препятствия. По командам оператора в зоне влияния таких препятствий, производится

перестройка движения робота за счет изменения величины и последовательности относительных перемещений рам робота.

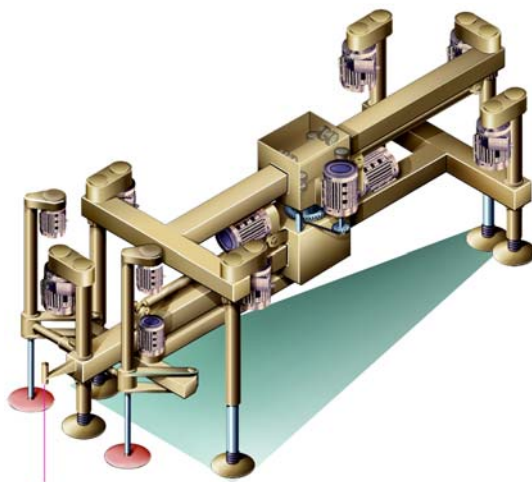


Рис. 3. Общий вид шагающего робота.

Разработаны алгоритмы перемещения робота при преодолении уступа и единичного препятствия, при движении по лестничному маршу, при маневрировании в ограниченном пространстве. Предлагаемый робот может перемещаться по пересеченной местности, преодолевая препятствия в виде единичных уступов (канав), высотой (глубиной) до 0,5 м и шириной до 0,8 м, а также сохранять горизонтальное положение, двигаясь поперёк склона с углом наклона $31,3^\circ$ и вдоль склона в $16,3^\circ$. Робот способен проводить мониторинг местности с производительностью $280 \text{ м}^2/\text{час}$.

Оказавшись непосредственно перед препятствием, система управления производит смену опорных элементов, подъём робота на необходимую высоту, и затем выполняет программу автоматического горизонтирования корпуса робота. Далее происходит преодоление препятствия путём последовательного чередования перемещений рам робота на величину Δl и смены опорных элементов. Каждая смена опорных элементов обязательно завершается автоматическим горизонтированием корпуса робота. Преодолев уступ, робот продолжает движение в маршевом режиме.

Система автоматического горизонтирования специализированного робота реализована на основе трехпозиционного жидкостного датчика горизонта, имеющего зоны нечувствительности, характеризующие его точность. Сигнал датчика принимает постоянные дискретные значения в зависимости от отклонения оси датчика от

горизонтального положения. Эти датчики установлены в двух взаимно перпендикулярных плоскостях робота – один вдоль продольной оси, другой вдоль поперечной оси, их показания характеризуют углы крена θ и дифферента ψ корпуса робота (рис. 4).

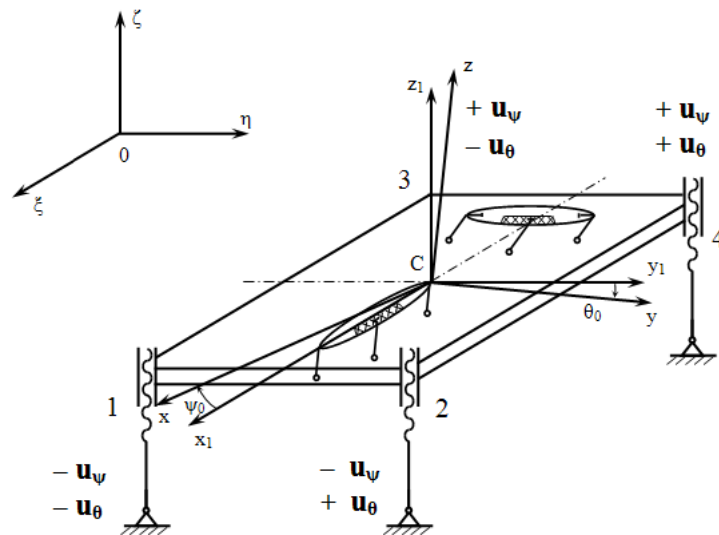


Рис. 4. Схема горизонтирования корпуса робота.

Методика автоматического горизонтирования робота заключается в следующем: при наличии отклонений корпуса робота от горизонтального положения, которые фиксируются датчиками горизонта, на приводы опорных стоек подаются управляющие сигналы $u_{\theta k}$ и $u_{\psi k}$; учитывая показания датчиков положения, контролирующих длины выдвинутых частей опорных стоек, оценивается возможность выдвижения всех домкратов робота; по сигналам датчиков горизонта и результатам оценки «выдвинутости» опорных стоек выбирается алгоритм автоматического горизонтирования (за счет работы одного, двух или четырех домкратов), обеспечивающий минимум энергетических и временных затрат.

Одной из задач при исследовании шагающих машин является задача динамической устойчивости аппаратов. Для изучения способов динамического уравнивания шагающих машин разрабатывается двуногий шагающий робот. Конструктивно аппарат (рис. 5) представляет собой платформу 1, на которой закреплены электродвигатель с маховиком 2 и две опорные ноги 3. Маховик и электродвигатель, а так же редуктор, передающий вращение от двигателя на маховик. Оси вращения маховика и ротора

электродвигателя перпендикулярны плоскости рисунка. Каждая нога имеет управляемую степень свободы — двигатель поворота 4. Конструкция стоп А и В обеспечивает достаточно высокий коэффициент сцепления, что исключает проскальзывание стопы аппарата по опорной поверхности. Кроме того, стопы выполняются достаточно длинными, чтобы аппарат не опрокидывался в направлении движения.

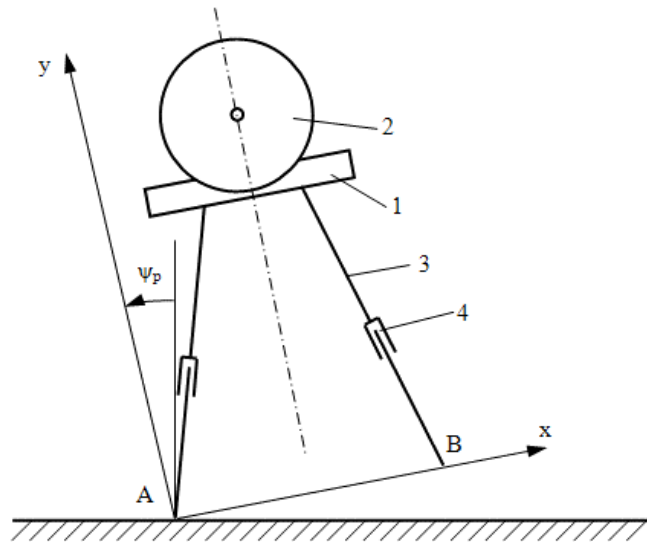


Рис. 5. Схема перевернутого маятника с переменной точкой опоры

Когда аппарат опирается на одну из ног, задача управления сводится к известной задаче управления перевернутым маятником [4, 5]. Управляя вращением маховика, можно добиться стабилизации аппарата в верхнем неустойчивом положении равновесия. Вращением маховика, можно добиться, чтобы аппарат переступал с ноги на ногу [6].

Перемещение вперед (перпендикулярно плоскости рисунка) осуществляется при опоре аппарата на одну из ног. На этой же ноге включается двигатель поворота, и аппарат поворачивается стопы. В результате, стопа второй ноги оказывается впереди, и, при переступании на неё, вперед движется платформа аппарата. После переступания, аппарат стабилизируется на второй ноге, двигатель поворота поворачивает аппарат относительно покоящейся на грунте второй стопы, а первая стопа в это время поворачивается в обратную сторону, чтобы компенсировать свой поворот на предыдущем шаге. Затем цикл повторяется.

Проведённые исследования показали, что шагающие машины могут быть использованы при выполнении различных технологических операций. Шагающие машины серии «Восьминог» с цикловыми одноступенными двигателями по динамическим показателям практически не уступают машинам с двигателями имеющими три и более степени подвижности, а по надёжности, простоте конструкции и управления превосходят последние. Разработаны методы управления движением группы шагающих машин при перемещении моногруза, обеспечивающие транспортировку по заданной траектории с обеспечением равномерности элементов подвесок. Разрабатывается малогабаритная шагающая машина с ортогональными двигателями, имеющая 10 управляемых степеней свободы и предназначенная для мониторинга окружающей среды. На основе известной и решенной задачи о стабилизации верхнего неустойчивого положения маятника, разрабатывается двуногий шагающий аппарат. Стабилизация верхнего неустойчивого положения равновесия при опоре на одну «ногу» осуществляется маховиком, а перенос свободной «ноги» за счёт работы двигателей курсового перемещения.

1. Охоцимский Д.Е., Голубев Ю.Ф. Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата — М.: Наука, 1984 — 312 с.

2. Основы расчёта и проектирования шагающих машин с цикловыми двигателями: монография / Брискин Е.С. и др. - М: Изд-во "Машиностроение 1", 2006. 164 с.

3. Мобильный робототехнический комплекс для гуманитарного разминирования / Брискин Е.С., Жога В.В., Покровский Д.Н., Шурыгин В.А. // Мехатроника, автоматизация, управление: [Журнал] – М., 2007. – №3. – с. 28-37.

4. Д.Е.Охоцимский, Е.В.Гурфинкель, Э.К.Лавровский, А.В.Ленский, С.Л.Татарский, А.М.Формальский Стабилизация вертикального положения двухколесного велосипеда при помощи маховика / Доклады научной школы-конференции «Мобильные роботы и мехатронные системы» — М.: Институт механики МГУ, 1999. С.14–30.

5. Ю.Г.Мартыненко, А.М.Формальский Управление маятниковыми системами / IX всероссийский съезд по теоретической механике — Нижний Новгород, 2006, С.84–85.

6. А.М.Формальский Перемещение антропоморфных механизмов. — М.: Наука, 1982, 368 с.