

МОБИЛЬНЫЕ АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗМИНИРОВАНИЯ

М.Ю. Рачков



РАЧКОВ
Михаил Юрьевич

Профессор, доктор технических наук, академик Российской академии космонавтики. Заведующий кафедрой «Автоматика, информатика и системы управления» Московского государственного индустриального университета, исполнительный директор Департамента «Образование» Международного центра обучающих систем ЮНЕСКО. Специалист в области автоматизации, робототехники и измерительных систем. Автор более 200 работ, в том числе 7 монографий. Книги по роботам вертикального перемещения и по автоматизации разминирования являются приоритетными.

Введение

По данным Международного центра по гуманитарному разминированию в настоящее время на территориях более чем 60 государств, когда-либо участвовавших в войнах или вооруженных конфликтах, остаются заложенными свыше 100 млн мин [1]. Их широкое применение обуславливается, наряду с военным аспектом, также и экономическими причинами (дешевизной мин по сравнению с затратами на разминирование). Так, цена одной противопехотной мины в среднем составляет от 3 до 15 долл. США, а стоимость ее обезвреживания после установки может достигать до 1000 долл. США [2]. В последние десятилетия производится по различным оценкам до 10 млн мин в год.

Заминированные территории, остающиеся после окончания военных действий, представляют собой источники экстремальной опасности. От мин страдают мирные жители: приблизительно 26 тыс. человек ежегодно погибают на минах или становятся калеками. Мины затрудняют оказание экстренной помощи, препятствуют земледелию и экономическому развитию стран. Более 22 млн человек, живущих в миноопасных регионах, затрагивает эта проблема, поэтому разминирование в современном мире представляет международную проблему чрезвычайной важности, особенно, обезвреживание противопехотных мин, являющихся объектами *гуманитарного разминирования*. (Дополнительным требованием при гуманитар-

ном разминировании является сохранение плодородного слоя почвы).

В настоящее время работы по разминированию проводятся чрезвычайно медленно. В Камбодже, например, порядка 6 млн мин были заложены в течение боевых действий, но только 12 км² минных полей в год могут быть освобождены от мин с использованием применяемых на сегодняшний день технологий [1]. При таких темпах потребуется около 100 лет, чтобы очистить от мин одну Камбоджу.

В 1997 г. 123 страны мира подписали в г. Оттаве (Канада) *Соглашение по запрещению использования, хранения, производства и передачи мин, уничтожающих живую силу*. В Соглашении содержится обращение к Организации Объединенных Наций, государствам и другим компетентным межправительственным или неправительственным организациям помочь в разработке национальных программ по разминированию. Такая национальная гуманитарная программа по разминированию, в частности, была принята в США в 2000 г.

Работа по разминированию, по своей природе, является достаточно опасной. К тому же она осложняется тем, что, несмотря на международные инструкции, минные поля почти никогда не наносятся на карту. Поскольку мины могут оставаться активными в течение, по крайней мере, 20 лет, эрозия земли и атмосферные осадки, особенно ливни, могут сделать даже существующие карты бесполезными. В некоторых случаях мины, заложенные по берегам рек, вымываются вниз по течению, а мины, заложенные в пустынях, легко перемещаются вместе с песками. Все это значительно усложняет процесс поиска мин и увеличивает их опасность для человека, вооруженного миноискателем, что не дает к тому же высокой эффективности такого разминирования. Применение мобильных автономных систем для автоматизации разминирования должно способствовать как решению проблемы безопасности, так и снижению затрат на разминирование.

Основными задачами мобильных автономных систем на основе робототехники являются

обнаружение всех мин сканированием территории их потенциального нахождения и обезвреживание мин. В работе мобильной системы, в общем случае, могут быть выделены следующие режимы: обнаружение мин, механическое разрушение мин на месте их обнаружения, разрушение мин после обнаружения, удаление мин и их разрушение в безопасном месте.

С технической точки зрения мобильные системы для разминирования можно подразделить на такие: по среде применения – на наземные, подводные и воздушные [3]; по виду шасси – на колесные, гусеничные, шагающие, винтовые и гибридные.

1. Колесные автономные системы

Примером колесной радиоуправляемой робототехнической системы может служить система, предназначенная для нейтрализации мин на территориях, сильно заросших растительностью (рис. 1) [4].



Рис. 1. Колесная радиоуправляемая робототехническая система

Производительность системы доходит до 800 м²/ч в зависимости от типа грунта и плотности растительности. Шасси системы имеет треугольный профиль, вершина которого направлена к поверхности перемещения, а стальная обшивка выполнена толщиной 8 мм. Такая конструкция шасси позволяет минимизировать повреждения от возможного взрыва мины. Ходовая часть выполнена на основе четырех гидростатических зубчатых колес, каждое из которых приводится в движение автономным дви-

гателем, что улучшает маневренность системы, а также устраняет необходимость использования таких узлов, как коробка передач, дифференциал и тормоз. Стальные зубчатые колеса толщиной 20 мм легко восстанавливаются или заменяются после износа или повреждения. Испытания показали, что такие колеса противостоят взрыву большинства средних по мощности мин.

Для обеспечения свободного доступа к заминированной поверхности по ходу робота установлен блок удаления растительности с эффективной шириной обработки 1,2 м, имеющий тридцать шесть цепей, каждая из которых длиной 330 мм. Они подрезают растительность до высоты 25 мм, могут удалять кусты и небольшую поросль деревьев до 20 мм в диаметре. Цепи также активируют минные растяжки, которые встречаются по пути, инициируя тем самым, подрыв мин. Привод блока удаления растительности представляет собой гидравлический мотор, обеспечивающий вращение цепей со скоростью до 1300 об/мин.

Основными преимуществами этого робота являются возможность его использования на трудных, с точки зрения проходимости, минных полях, низкие эксплуатационные расходы, а также простота доставки к месту работы из-за сравнительно небольших габаритов и массы. Робот управляется дистанционно, несет на себе поисковое и извлекающее оборудование (рис. 2).

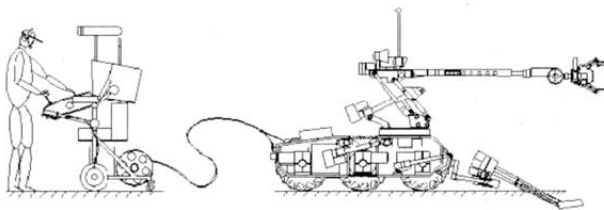


Рис. 2. Схема установки поискового и извлекающего минного оборудования

В качестве поискового минного оборудования может быть использован механический зонд [5]. Для нахождения заложенной мины используется стальной щуп, совершающий ав-

томатическое возвратно-поступательное движение для проникновения в грунт под углом 30° к поверхности. Щуп, одновременно с возвратно-поступательным движением, может вибрировать или вращаться для более легкого проникновения в грунт. Датчик зонда дает информацию об объектах, с которыми щуп сталкивается в грунте. Извлекающее оборудование представляет собой бортовой манипулятор с датчиками положения и усилий в захватном устройстве.

Процедура поиска заключается в первоначальном сканировании грунта в рабочей зоне с шагом 5 см. При обнаружении препятствия шаг сокращается до 2,5 см или меньше в зависимости от характеристик грунта, а система распознавания продолжает непрерывно анализировать собранные данные, определяя размер и форму скрытого объекта. Если объект распознается как мина, то выполняется процедура извлечения объекта.

Дистанционно управляемая вращающаяся колесная система (рис. 3) имеет три стальных колеса, расположенные под углами 120° друг к другу на общем каркасе, массой приблизительно по 80 кг каждое и толщиной 4–6 см. Они приводятся в действие независимыми компактными гидравлическими двигателями.

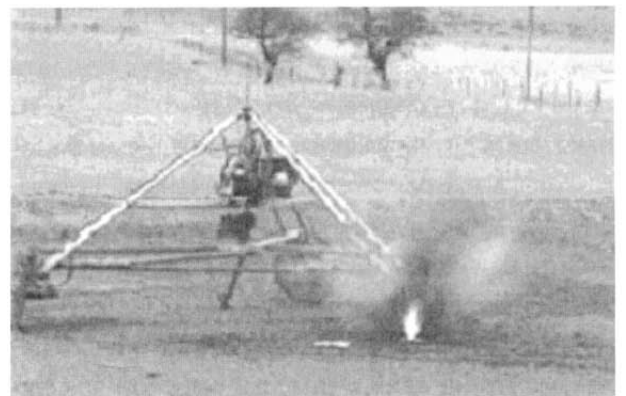


Рис. 3. Вращающаяся колесная система

Благодаря расположению колес, система может совершать вращательные движения. Различные скорости моторов колес позволяют организовывать их спиральное в проекции на

разминируемую поверхность движение при поступательном перемещении каркаса. В результате колеса непрерывно покрывают зону шириной 5 м в направлении движения каркаса с промежутками в 3 см, имитируя ширину ступни человека и его давление на поверхность, тем самым зондируя почву на предмет наличия мин.

В случае активации мины колесом система может быть повреждена, но благодаря простой конструкции – легко восстановлена.

Для быстрой идентификации присутствия мин применяются не только активные, но и пассивные системы, например, использующие в качестве активатора мин дисковый зонд, закрепляемый на жесткой сцепке впереди транспортного модуля (рис. 4).



Рис. 4. Дисковый зонд

Дисковый зонд, перемещаясь по заминированной поверхности, активирует мины посредством создания давления от собственного веса (около 10 кПа), достаточного для срабатывания взрывателя. Конструктивно зонд выполнен из ряда стальных дисков, которые установлены с возможностью независимого перемещения относительно друг друга, массой по 50 кг каждый. Это позволяет зонду выдерживать многократные взрывы мин и эффективно функционировать на неровной поверхности по всей длине зонда. Использование этого метода существенно ускоряет процесс разминирования.

2. Гусеничные робототехнические системы

Гусеничные робототехнические системы выполняются на гусеничной ходовой части.

Дистанционно управляемый гусеничный транспортный модуль (рис. 5) спереди снабжен вращающимся барабаном с зубьями из прочного карбидного материала. Они инициируют подрыв мины или перемалывают ее на безопасные части.

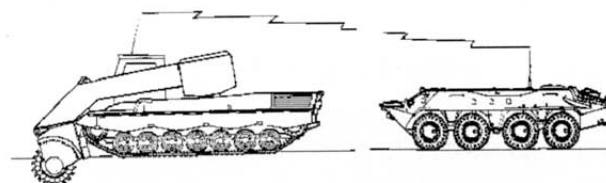


Рис. 5. Схема гусеничной робототехнической системы

Модуль эффективно обрабатывает грунт на глубину более 20 см. Для каменных грунтов в барабане используются зубья из твердых сплавов, способных дробить скальные породы.

Другим примером такой робототехнической системы разминирования служит бронированный гусеничный транспортный модуль со специальным плугом (рис. 6).



Рис. 6. Бронированный гусеничный транспортный модуль

Применение плуга позволяет увеличить скорость зондирования поверхности. Однако из-за того, что зубья плуга располагаются на значительном расстоянии друг от друга, некоторые мины могут остаться необезвреженными по обе стороны от крайних зубьев в отвалах грунта. Таким образом, данная система может обеспечить только безопасный коридор за собой.

3. Шагающие системы

Шагающие системы используют для своего перемещения педипуляторы («механические ноги»), что обеспечивает им наилучшую проходимость в условиях пересеченной местности (рис. 7).

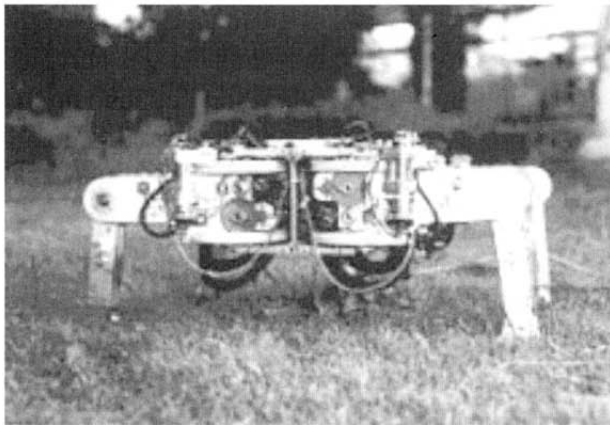


Рис. 7. Робот со сменными педипуляторами

Сменные педипуляторы позволяют использовать на них различные рабочие инструменты (рис. 8).

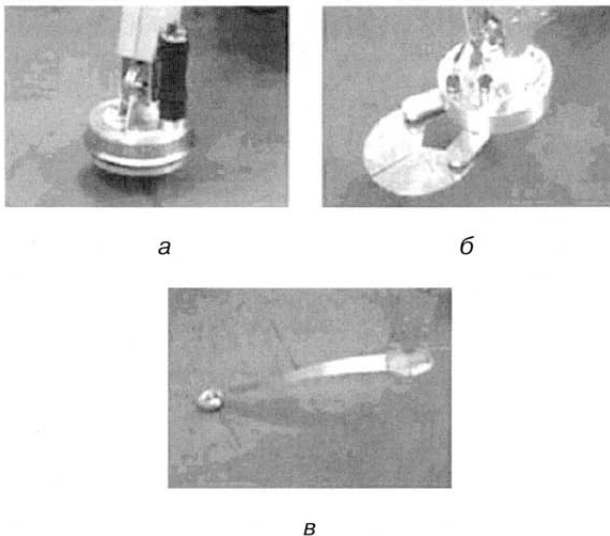


Рис. 8. Рабочие инструменты педипулятора:
а – резак; б – захватное устройство; в – детонатор

Первой операцией при разминировании может быть удаление травы из рабочей зоны поиска путем использования вращающегося

резака. Для удаления мины в качестве рабочего инструмента применяется захватное устройство в форме лопатки. При необходимости подрыва мины применяется детонатор на длинном рычаге. Основными недостатками такой конструкции являются относительно высокая стоимость и низкая производительность.

Этих недостатков лишен мультисенсорный пневматический робот (рис. 9).

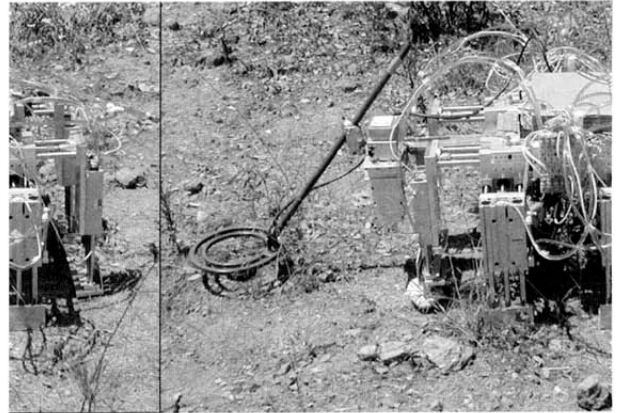


Рис. 9. Мультисенсорный пневматический робот

Транспортная система робота базируется на пневматических приводных элементах и имеет робастную конструкцию повышенной проходимости [6]. Это позволяет размещать на его борту оборудование для разминирования массой до 100 кг и перемещать его по неровным и пересеченным местностям с углом наклона до 50° . Оператор, находящийся в зоне безопасности, управляет роботом посредством бортового процессора в программном или интерактивном режиме. Педипуляторы робота обладают возможностью адаптации по высоте к препятствиям, что обеспечивает постоянство рабочего положения датчиков мин относительно поверхности перемещения.

Система имеет два режима управления. Первый режим – транспортный, блок сканирования выключен. В этом случае пневмоцилиндры перемещаются с максимальной скоростью, используя всю длину рабочего хода и обеспечивая максимальную скорость движения. Робот может изменять направление движения на

требуемый угол, в том числе вращаться, в частности, посредством одновременного движения продольных цилиндров в противоположных направлениях при контакте их педипуляторов с поверхностью движения. Второй режим – обнаружение мин, в котором блок обнаружения сканирует зону перед роботом. Траектория сканирования реализуется при движении системы с оптимальной скоростью, соответствующей параметрам блока обнаружения. Благодаря такому сочетанию достигается повышенная производительность работы системы.

4. Винтовые системы

Винтовые системы построены на основе использования двух архимедовых винтов, которые перемещают корпус системы по поверхности. При этом одновременно задействуются левый и правый винты (рис. 10).

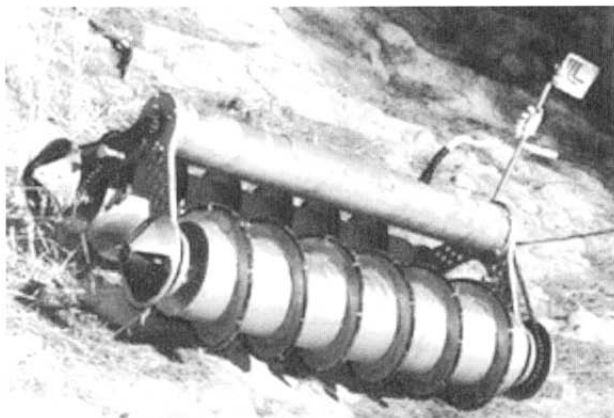


Рис. 10. Движитель винтовой системы

Вращение винтов в различных направлениях позволяет системе двигаться в любую сторону и изменять направление движения с нулевым радиусом поворота. Винты выполнены на базе полых цилиндров, которые придают системе плавучесть при исследовании болотистых и затопленных территорий. Система оборудована блоком датчиков мин, бортовым контроллером и беспроводными линиями связи с оператором.

Робот имеет на борту источники питания, электронную систему управления, микроволно-

вый радар обнаружения мин и аппаратуру беспроводного канала связи, что дает возможность оператору, управляющему роботом дистанционно, наблюдать результаты сканирования поверхности в видеоизображении.

5. Подводные системы

Мины, расположенные под водой, могут быть обнаружены с помощью автономных роботов, перемещающихся по подводным поверхностям (рис. 11), или способных плавать под водой (рис. 12).

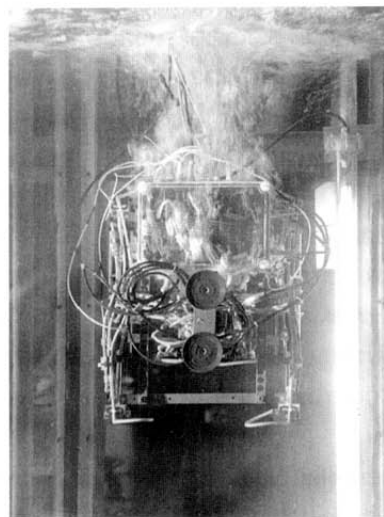


Рис. 11. Общий вид подводного робота вертикального перемещения



Рис. 12. Робот с волнообразным механизмом передвижения

К автономным роботам, перемещающимся по подводным поверхностям, относятся подводные роботы вертикального перемещения [7], обычно реализующие шаговый способ передвижения для поиска и обезвреживания мин, закрепленных на подводных объектах, например, на корпусах кораблей. Они надежно сцепляются с поверхностью перемещения с помощью эжекторных вакуумных захватных уст-

ройств, что обеспечивает точность манипуляций и препятствует их сносу подводными течениями. Сила фиксации робота на подводной поверхности зависит от глубины нахождения робота под водой. Чем глубже рабочая зона робота, тем лучше соединение его с поверхностью перемещения за счет прижимного эффекта из-за увеличения внешнего давления воды. В то же время прямое использование пневматических эжекторов под водой требует специальных мер для сохранения их динамических характеристик. Одной из таких мер является использование давления дополнительного газового объема в выходной линии эжектора, равного давлению эффективного объема пневматических полостей вакуумных захватных устройств [8].

Особая конструкция герметичного корпуса робота, установленного на платформе, позволяет разместить в нем бортовой компьютер и блок системы приводов. Микропроцессорная система управления роботом на основе компьютера использует обратные связи от датчиков состояния робота и датчика обнаружения мин.

Применение транспортной системы цилиндров, обеспечивающих перемещение по сканируемой поверхности, а также способность к диагональному движению, позволяет роботу осуществлять желаемые траектории поискового движения.

Для помещения робота в рабочую зону может быть использовано два способа. При первом способе робот из исходной позиции к месту проведения технологической операции перемещается самостоятельно. Этот вариант не требует применения дополнительного транспортного оборудования, однако время движения робота ограничено скоростью приводов его транспортной системы.

При втором способе применяется внешний манипулятор, который переносит робот из исходной позиции непосредственно в рабочую зону. В исходной позиции робот соединяется с манипулятором с помощью внешней транспортной системы захватов. Это позволяет

транспортировать робота в рабочую зону непосредственно через толщу воды с относительно высокой скоростью. После фиксации робота в рабочей зоне транспортная система захватов отсоединяется от манипулятора, и в дальнейшем робот совершает автономное движение.

Основные технические характеристики подводного робота

Максимальная масса технологического оборудования, кг	15
Масса (без технологического оборудования), кг	9
Максимальный шаг, мм	80
Диапазон транспортных скоростей, м/мин	0,6–3
Приводная система	комбинированная
Высота преодолеваемых препятствий, мм	до 40
Система захватов	вакуумная
Поисковое оборудование	ультразвуковой датчик
Габаритные размеры (LxBxH), мм	590x430x220
Питание:	
давление воздуха, МПа	0,6
напряжение, В	24
ток, А	0,5

Подводный мобильный робот с волнообразным механизмом передвижения относится к роботам, способным свободно плавать под водой (см. рис. 12). Он дополняет возможности роботов вертикального перемещения, так как предназначен для поиска мин, находящихся в свободном состоянии в толще воды или подвешенные в ней. Этот робот (или их группа) может быть доставлен в зону поиска торпедой без боезаряда или судном, с которого производится оперативное управление поиском с использованием акустического глубиномера и компаса. Пространственно сканируя водный путь перед судном, робот обнаруживает мины, которые затем обезвреживаются.

6. Воздушные системы

Дистанционно управляемые автономные воздушные системы позволяют обнаруживать мины с воздуха и исследовать большие области за короткое время. Такая высотная система (рис. 13) состоит из воздушной платформы, оснащенной блоком управления полетом, твердотельной камерой и инфракрасным датчиком.



Рис. 13. Высотная автономная воздушная система

Воздушная платформа позволяет иметь на борту до 30 кг полезного груза и перемещаться со скоростью до 70 км/ч в автономном полете продолжительностью до 2 ч. За это время может быть обследована площадь радиусом до 10 км. Устройство вертикального взлета используется как для взлета и посадки, так и для более точного поиска мин в требуемых местах. Модуль автоматического возвращения позволяет воздушной платформе найти стартовую позицию даже в случае потери связи с наземной станцией.

Для обнаружения мин и картографии минного поля применяется бортовое оборудование, включающего инерциальную навигационную систему.

Программирование заранее намеченных маршрутов позволяет использовать воздушную систему в автоматическом режиме управления или в ручном режиме – с наземной станцией.

Наземная станция устанавливается на транспортном средстве, доставляющем ее в рабочую зону. Она имеет компьютерную систему, которая позволяет оператору проводить управление полетом и рассматривать цветные изображения с борта воздушной платформы в реальном масштабе времени.

Примером воздушной системы для обнаружения мин с минимальной высоты служит низковысотная воздушная система (рис. 14). Ее номинальная высота полета составляет около 1,5 м над землей, что позволяет использовать на борту системы достаточно точные датчики обнаружения мин.



Рис. 14. Низковысотная автономная воздушная система

Эта система имеет неметаллический корпус диаметром 2 м. Конструкция, собственной массой около 100 кг, может нести на борту полезный груз массой до 15 кг. Скорость перемещения системы может меняться от нуля в режиме парения до 60 км/ч в режиме полета.

7. Гибридные системы

Гибридные системы предназначены для использования синергетического эффекта от комбинации различных систем передвижения (рис. 15).

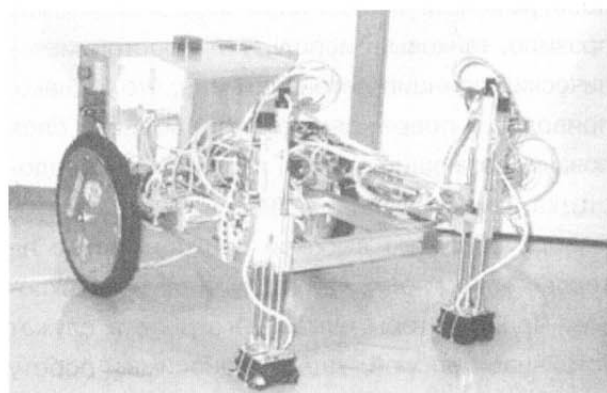


Рис. 15. Гибридная система

Эта конструкция разработана для поиска мин на неровных ландшафтах. Робот имеет два пневматических педипулятора спереди, обладающих тремя степенями свободы каждый, и два колеса сзади, воспринимающих основную нагрузку от веса робота. Педипуляторы улучшают контакт с поверхностью и служат для преодоления препятствий. Колеса приводятся в действие независимыми электродвигателями.

Робот имеет шесть микроконтроллеров с нечеткой логикой для управления поршнями пневмоцилиндров педипуляторов, автономную систему управления колесами и центральный компьютер для общего интерактивного управления всеми системами робота. Габаритные размеры робота составляют 660х1110х400 мм.

Заключение

В обозримом будущем проблема разминирования вряд ли станет менее актуальной. Поэтому дальнейшие работы в области автоматизации процесса разминирования с применением автономных мобильных систем, оснащенных датчиками обнаружения мин, будут все также востребованы.

Существующие системы не безупречны, каждая из них обладает как достоинствами, так и недостатками.

Воздушные системы, в основном, могут использоваться только для обнаружения мин на поверхности, при этом они наиболее производительны. Колесные мобильные системы имеют сравнительно невысокую проходимость, но простую конструкцию. Гусеничные системы, как правило, танковые, используют простой механический принцип детонации мин, что, однако, приводит к повреждению плодородного слоя почвы. Шагающие роботы лишены этого недостатка, имеют сравнительно невысокую стоимость, обладают высокой проходимостью на неровной местности при наличии камней и склонов. Педипуляторы шагающего робота служат устойчивой опорой. Ущерб, наносимый роботу в случае близкого взрыва мины, часто ограничивается потерей одного педипулятора, кото-

рый может быть относительно легко заменен. Наиболее простые и недорогие педипуляторы, а также другие приводные элементы робота могут быть спроектированы на базе стандартных пневматических компонентов.

Колесные, винтовые и гибридные робототехнические системы имеют невысокую проходимость.

Датчики обнаружения мин используют различные методы измерения – от механических до нейтронных. Учитывая особенности датчиков (достоинства и недостатки), дальнейшим направлением работ в области создания робототехнических систем должно стать исследование оптимальных комбинаций датчиков на одной мобильной системе для повышения надежности обнаружения мин и повышения эффективности операции разминирования.

Литература

1. EUEM: The EU in humanitarian DEMining, Final Report. – Belgium: Brussels. 1999. – 78 p.
2. M. Rachkov, L. Marques, A.T. de Almeida, Automation of demining. – Portugal: University of Coimbra. 2002. – 281 p.
3. Рачков М.Ю. Совершенствование средств гуманитарного разминирования. Безопасность жизнедеятельности // Новые технологии. 2005. № 1. С. 43-50.
4. Mechanical Demining Equipment Catalogue, Geneva International Centre for Humanitarian Demining. – Switzerland: Geneva. 2002. – 124 p.
5. K.M. Dawson-Howe, T.G. Williams, Autonomous Probing Robots for the Detection of Abandoned Landmines. – SIRS, 1997. – 23 p.
6. Рачков М.Ю. Мультисенсорный робот для гуманитарного разминирования. Мехатроника, автоматизация, управление // Новые технологии. 2004. № 7. С. 18-28.
7. M. Rachkov, Wall climbing robots: development and trends of application in Russia // Proc. of the Int. Conf. on Mechatronics and Robotics. Germany: Aachen. 1994. P. 157-174.
8. Бах Ф.В., Рачков М.Ю., Зиферс Й. Подводный робот вертикального перемещения, полезная модель RU 4956 U1. 1996.