

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НИОКР ПО СОЗДАНИЮ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

А. В. Белевич, М. М. Татур
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Академическая, 12, 220072, Минск, Беларусь
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь
E-mail: tatur@bsuir.by

ВВЕДЕНИЕ

Мобильный робототехнический комплекс (МРК) - это машина, которая может перемещаться в пространстве и выполнять определенные функции, обусловленные ее специализацией. Управление МРК может осуществляться либо дистанционно, оператором, либо автономно (полуавтономно). Специальными функциями МРК, как правило, являются фото и видео разведка, обследование опасных (или подозрительных) предметов. Также актуальными являются задачи тушения пожаров особой сложности, транспортировки опасных грузов, забора проб грунта, воздуха, воды, проведения дегазации и дезинфекции и т.п. Для обеспечения таких специальных функций машина-робот оснащается соответствующим навесным оборудованием, предусматриваются конструктивные особенности как механической части, так и систем управления.

Под определение МРК подпадают все беспилотные летательные, наземные (подземные), надводные (подводные) аппараты, и исключаются стационарные, роботы-станки и роботизированные производственные линии, а также роботы, перемещающиеся по обустроенным путям. За последнее время в мобильной робототехнике наблюдается активное развитие, как в области изделий специального применения [1-3], так и продукции широкого потребления (роботы-пылесосы, роботы-газонокосилки и т.п.). Практически все крупные автоконцерны проводят широкомасштабные исследования по созданию беспилотных автомобилей, автобусов, троллейбусов, трамваев. Естественно, на дороги общего пользования эти образцы не допускаются, однако активность в данной области свидетельствует, что в скором будущем в рутинной и/или опасной для человека работе все чаще будут использоваться роботы.

В настоящей работе речь пойдет о наземных МРК, в частности, будут изложены результаты НИОКР по созданию отечественного мобильного робота, предназначенного для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

I. КЛАССИФИКАЦИЯ МРК. ТИПОВОЙ СОСТАВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Классификация и общие технические требования к МРК для проведения аварийно-спасательных работ приведены в [4]. Основные градации МРК: по целям и средам применения; по способам управления (степени автоматизации); по транспортной базе; по типу привода; по виду линии связи и т.д. Также, наземные МРК разделяют на классы от сверхлегких (с общей массой до 100 кг и грузоподъемностью манипулятора - 10% от общей массы), до тяжелых и сверхтяжелых МРК (50 тонн и выше с грузоподъемностью манипулятора, соответственно, 10%).

Из общих технических требований выделим те, которые характеризуют представления о МРК для проведения аварийно-спасательных работ в свете современных технологических возможностей.

- МРК должен обеспечивать выполнение работ в соответствии с назначением (радиационно-опасных, взрывоопасных, пожароопасных, гидроопасных и т.д.).
- Функциональная эффективность, определяемая вероятностью выполнения поставленной задачи за заданное (оперативное) время, не менее 0,9.
- МРК должен обладать высокой рельефной и опорной проходимостью, сохранять курсовую устойчивость, иметь возможность свободного маневрирования, сохранять устойчивость при дистанционном управлении.
- Время непрерывной работы – в пределах 2 часов.
- Система телеуправления должна обеспечивать для наземных МРК дальность радиопередачи – от 1000 до 2000 м, а кабельного управления от 200 до 400 м.
- Радиоэлектронные технические средства должны обладать электромагнитной совместимостью не ниже 2-й степени жесткости и функционировать без недопустимых

помех в собственной электромагнитной среде.

- Нарботка на отказ – не менее 200 ч.
- Среднее время восстановления – не более 2 ч.

Значительное число частных технических характеристик не регламентируется, а определяются Техническим заданием на разработку и изготовление конкретного МРК.

Типовой состав МРК включает:

- транспортную базу (носитель);
- навесное функциональное оборудование (манипулятор, пожарный ствол и др.)
- измерительные приборы для оценки параметров аварийных объектов, среды, отбора проб;
- систему телеуправления (пульт, монитор, бортовой компьютер, видеокамеры, программное обеспечение);
- систему связи.

В зависимости от класса и назначения МРК, а также от объективных технико-экономических ограничений, в его состав и технические требования к отдельным подсистемам будут вноситься специфические особенности.

II. СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАК ОБОСНОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МРК

Среди технических требований иногда встречаются противоречивые, в которых улучшение одних ведет к ухудшению других. Например, повышение функциональности, ведет к усложнению системы, а следовательно к снижению ее надежности с соответствующими показателями. Если повышать надежность (наработку на отказ) за счет применения высокотехнологичных (зачастую импортных) комплектующих, то система может оказаться неремонтопригодной, и т.д. Еще более очевидным является зависимость стоимости МРК от числа и уровня достигаемых технических требований, причем стоимость следует рассматривать как комплексную величину, включающую стоимость разработки, изготовления, эксплуатации, сервисного обслуживания, ремонта и технического сопровождения (модернизации).

Эти замечания следует принимать во внимание при обосновании исходных данных при формировании Технического задания на разработку МРК. Поэтому, разработка технических требований к создаваемому робототехническому комплексу, по сути, является верхним этапом системного проектирования, на котором определяются основные параметры, достижения которых является критически важным, а также – объективные ограничения, в рамках которых должен находиться проект (система). Остальные (желательные) параметры системы станут «предметом торга», т.е. будут достигаться по мере возможности. Например, качество передаваемого видео

будет всегда ограничиваться полосой пропускания радиоканала и т.п.

Если технические требования к системе будут сформированы некорректно, то Техническое задание окажется невыполнимым на уровне современных знаний и/или технологических возможностей, и/или доступных экономических, временных, организационных ресурсов. Проверка и оценка корректности технического задания сложной системы (такой как МРК) представляет самостоятельную проблему. Очевидно, что формального решения эта проблема не имеет, а одним из подходов к ее решению является экспертная оценка. Также, очевидно, что попытки выполнения некорректно поставленного Технического задания чреватые неоправданными затратами. Другими словами, на стадии разработки Технического задания необходимо взвешенно сопоставлять категории «ХОЧУ» и «МОГУ».

III. ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МРК ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Рассмотрим особенности построения МРК для ликвидации чрезвычайных ситуаций на примере НИОКР, выполненной консорциумом белорусских организаций в 2013-2015 г.г. в рамках Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь [5-9].

Изначально было выдвинуто основное требование по назначению – проведение взрывоопасных, пожароопасных работ, причем унификация функций предполагалась за счет смены навесного оборудования. Основное ограничение – доступный ценовой диапазон для массового применения, возможность отечественного серийного производства. Остальные технические требования налагались исходя из перечня общепринятых для подобного класса МРК, либо соотносились с заявленными ограничениями.

В качестве транспортной базы было выбрано шасси мини-трактора «Беларус 132Н» производства Сморгонского агрегатного завода. Такой выбор предопределил целый ряд технических характеристик, таких как маневренность (2,5 м радиус разворота), грузоподъемность (300 кг на борт + 500 кг на прицеп), мобильность (может транспортироваться к месту применения на двухосном прицепе либо в микроавтобусе), опорная проходимость (завалов до 30 см за счет сочлененной рамы и полного привода), ремонтпригодность. Механический привод на двигателе внутреннего сгорания развивает достаточную мощность и обеспечивает продолжительность работы в течение двух и более часов. Созданные образцы были оснащены пожарным лафетным стволом производства ООО «Импреса» и оригинальным гидравлическим манипулятором, рис. 1 а,б. Общая конструкция запатентована, как полезная модель универсального мобильного робототехнического комплекса [10].



Рис. 1 – Фото образцов МРК с навесным оборудованием: а – с пожарным лафетным стволом; б – с гидравлическим манипулятором и отвалом.

Основные наукоемкие работы были сосредоточены на создании системы телеуправления и ее сопряжения с транспортной базой (шас-

си мини-трактора). На рис.2. представлена обобщенная схема системы управления.

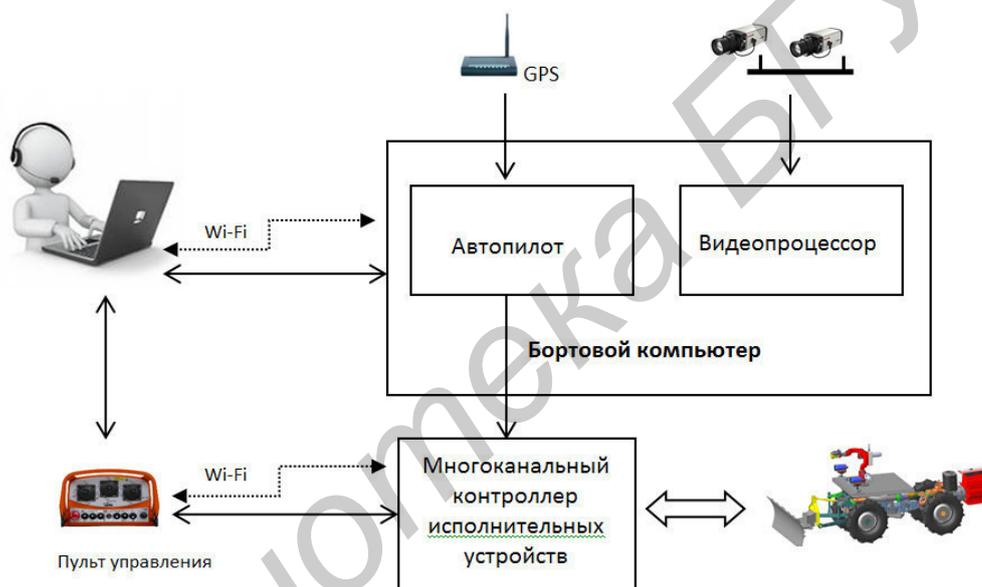


Рис. 2 – Обобщенная схема системы управления МРК

Особенность предлагаемой системы управления состоит в том, что алгоритмы и, соответственно, программы управления представлены в двух уровнях. Верхний уровень управления реализуется посредством оператора (с пульта управления) и/или бортового компьютера. Нижний уровень программ и регуляторов реализуется многоканальным контроллером исполнительных устройств. Нижний уровень является «консервативным», т.е. жестко привязанным к конструктивным особенностям механического шасси, исполнительных устройств (актуаторов) и электронной части контроллера. В то же время верхний уровень будет доступен разработчику для гибкого применения авторских решений как в концептуальном, так и техническом плане. В целом это позволит сократить сроки и стои-

мость разработки новых вариантов робототехнических комплексов различными авторскими коллективами для оригинальных приложений.

Система управления имеет два альтернативных контура управления: 1-й, через внешний монитор и бортовой компьютер (с выдачей видео на монитор оператора), и 2-й, напрямую, непосредственно с выдачей команд на контроллер исполнительных устройств (без получения оператором видеокартинки). Это позволяет сформировать для потребителя две опции, существенно различающиеся как в функциональном так и стоимостном отношении. Предварительные оценки МРК, при условии заказного мелкосерийного производства, составили: для МРК в минимальной комплектации (без видео телеметрии) - 15 тысяч у.е., в максимальной комплектации (с

видео телеметрией) – 25 тысяч у.е. Оценки проводились без учета навесного функционального оборудования (пожарный лафетный ствол, гидравлический манипулятор).

В настоящее время образцы проходят опытно-эксплуатационную в Республиканском отряде специального назначения МЧС.

Предварительные результаты испытаний следующие.

1. Ходовые испытания носителя по преодолению завалов, бродов, уклонов и др. препятствий показали, что изделие в целом отвечает требованиям для данного класса МРК, фрагменты испытаний приведены в [11]. Имеется возможность дополнительного повышения ходовых качеств за счет установки колес большего диаметра, двоящих колес и разнесения колеи. Мощности двигателя и грузоподъемности шасси достаточно чтобы устойчиво нести и применять функциональное навесное оборудование (пожарный лафетный ствол, гидроманипулятор).
2. Испытания пожарного лафетного ствола в составе МРК показали возможность его дистанционного управления в требуемых режимах, устойчивость МРК при различных направлениях струи, дальность струи при давлении 10 атм. составила 50 метров, возможность маневрирования МРК при четырех заполненных рукавах .
3. Испытания макетного образца гидроманипулятора на грузоподъемность составили 5-10 кг, в зависимости от длины рычага, радиус действия манипулятора 1,5 м, габариты захватываемых предметов 5-10 см.
4. Система управления обеспечивает устойчивую телеметрию по радиоканалам до 800 м, по кабелям до 100 м. Реализованы команды включения и выключения двигателя, управления трансмиссией носителя, переключения направления движения, включения двух передач, блокировки дифференциала, управления навесным функциональным оборудованием, управления видеосистемой и режимами бортового компьютера. Алгоритмы и программное обеспечение оригинальны и открыты для развития и сопровождения.
5. Доступность обучения навыкам управления МРК оценена в два двухчасовых занятия. Необходимый уровень подготовки специалистов сервисного обслуживания МРК: для носителя соответствует уровню эксплуатации и ремонта простейшего трактора, для системы управления – уровню пользователя компьютера. Наладка и ремонт системы управления должны осуществляться сертифицированными специалистами.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МРК

Настоящая работа является пионерской для нашей страны в данной области. Для ее выполнения были привлечены ресурсы более 10 предприятий и организаций-соисполнителей. Главный вывод по НИОКР – следующий. Отечественная наука и промышленность способны разработать и освоить выпуск МРК в доступной ценовой категории: шасси – Минский тракторный завод (и/или его филиалы), видеосистему - НТЦ «ЛЭМТ БелоОМО», внешний специальный монитор и бортовой компьютер - «НИИ ЭВМ», мехатронную систему управления – Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, научное сопровождение – Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, прикладное сопровождение – НИИ пожарной безопасности МЧС. Общая доля отечественных комплектующих в изделии – более 80%, технологий, пригодных для сопровождения и развития – более 90%.

Вряд ли следовало ожидать, что за два года, фактически «с нуля», реально «догнать и перегнать», ведущие мировые компании, десятилетиями осваивающими отрасль экстремальной робототехники. По объективным причинам ограниченности ресурсов в Техническом задании на НИОКР требования электромагнитной совместимости, радиационной стойкости, оценки эксплуатационной надежности, эргономики и дизайна не ставились и не решались. Однако, уже сейчас можно утверждать, что получен бесценный опыт, который может и должен быть использован. В качестве очередных этапов дальнейшего развития данного направления могут быть следующие мероприятия:

- оценить потребности МЧС Республики Беларусь в подобных МРК;
- конкретизировать условия применения МРК и провести доработки экспериментальных образцов;
- разработать методики боевого применения МРК, методики и нормативы для подготовки персонала;
- сформировать государственный заказ, произвести опытную партию МРК, провести сертификацию изделия;
- освоить заказное серийное производство, технический сервис, сопровождение и модернизацию технологий.

Названные мероприятия представляют собой связку технических, экономических и организационных вопросов, выходящих за рамки возможностей решения одним предприятием-разработчиком или изготовителем.

Дальнейшее развитие отечественной экстремальной робототехники видится в направлениях:

- оснащения МРК специальными приборами всесторонней разведки и точными манипуляторами;
- развития систем автономной, в том числе интеллектуальной навигации;
- образования группировок роботов, в том числе, воздушного, наземного и надводного базирования для выполнения общей задачи;
- освоение различных шасси носителей, как по классу грузоподъемности, так и по приводам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. www.adunok.by
2. www.qinetiq.com
3. www.brokk.ru
4. ГОСТ Р 54344-2011 «Мобильные робототехнические комплексы для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения».
5. М.М.Татур Перспективы и проблемы создания отечественных мобильных робототехнических комплексов //Вестник БрГТУ: Физика, математика, информатика. Брест. 2014.- №5.- С.32-35.
6. М.М.Татур Концепция построения системы управления мобильным роботом на платформе серийного мини-трактора «Беларус 132» //Минск. Системный анализ. – 2015. – № 2. - С. 43-48.
7. М.М.Татур Отечественный мобильный робот для тушения пожаров особой сложности: от концепции к опытному образцу //Минск. Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. - 2015.- №1(37). С.133-140.
8. Multifunctional mobile robot /The 5th Int. Conf. on Control and Optimization with Industrial Applications, 27-29 August, 2015, Baku, Azerbaijan. P.432-435
9. M. M. Tatur, A. K. Dadykin, M. M. Kurdi Multifunction system of mobile robotics /3-d Int. Conf. on Electrical, Electronics, Computer Engineering and their Applications (EECEA). -2016. P. 110 - 113, DOI: 10.1109/EECEA.2016.7470775 IEEE Conference Publications
10. Патент Республики Беларусь на полезную модель № 11056.
11. <https://www.youtube.com/watch?v=m8ovZ-8pSSs&feature=youtu.be>