

УДК 007:621.865.8

**А.В. Калинин, В.П. Носков, И.В. Рубцов**

**СРЕДСТВА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ АВТОНОМНОЕ ДВИЖЕНИЕ  
НАЗЕМНЫХ РТК**

*Все существующие наземные РТК оснащаются системами дистанционного управления, которым присущи принципиальные недостатки: непрерывное участие человека; ограниченный радиус действия; возможность эффективного применения противником средств противодействия и уничтожения, в следствии постоянной работы радиоканала. Передача функций, выполняемых оператором, бортовой системе управления движением позволяет исключить или минимизировать время работы радиоканала и тем самым устранить отмеченные недостатки. В статье описаны подсистемы автономного управления движением роботизированного танка и результаты их испытания в реальных условия. Наибольшее внимание уделено системам технического зрения.*

*Система автономно управления движением; система технического зрения; навигационная система; картографическая база данных.*

**A.V. Kalinin, V.P. Noskov, I.V. Rubtsov**

**EQUIPMENT FOR PROVIDING THE AUTONOMOUS MOVEMENT  
OF GROUND RTC**

*All real ground RTC are equipped with remote control systems. These systems have some principal disadvantages such as continuous participation of man, limited work range, abilities of counteraction and destruction from enemy due to continuous action of radio channel. Delegation of functions from operator to onboard control system allows to minimize working hours of radio channel and to eliminate these defects. In the paper, subsystems of autonomous movement for robotized tank are described. The results of experimental research are shown. The main attention are allotted to vision system.*

*System of autonomous control for movement; vision system; navigation system; mapping database.*

Основные принципы построения системы управления, обеспечивающей различные варианты и режимы движения мобильных робототехнических комплексов, ее обобщенный аппаратный и алгоритмический состав приведены в [1]. В настоящей статье описываются результаты разработки и испытания в составе роботизированного танка Т-72Б (рис. 1) созданных к настоящему времени программно-аппаратных средств управления автономным движением.



*Рис. 1. Роботизированный танк Т-72Б*

**Подсистема нижнего уровня управления** представляет собой комплекс программно-аппаратных средств, предназначенный для непосредственного управления движением роботизированного танка в автоматическом, дистанционном, полуавтоматическом и ручном режимах. Автоматический режим используется при организации без экипажных автономного и дистанционно-управляемого движения, а также – для подстраховки в экипажном варианте. В последнем случае возможно управление машиной без участия экипажа (например, дистанционное управление выводом машины с поля боя при поражении экипажа). Полуавтоматический режим позволяет осуществлять движение объекта под управлением человека-оператора, как с места механика-водителя, так и с места командира с передачей ряда функций, выполняемых в штатном режиме механиком-водителем, на систему управления (например, оптимальное автоматическое переключение передач). Управляющие воздействия оператора передаются подсистеме через рукоятку (джойстик) (рис. 2), позволяющей реализовать достаточный для обеспечения движения набор сервисных возможностей комплекса. При разработке алгоритмов и программ нижнего уровня управления были учтены логика и приемы вождения опытных механиков-водителей.



*Рис. 2. Рукоятка управления движением*

Испытания, которые проводились на типовых трассах, используемых при освоении техники вождения танка, показали, что разработанные программно-аппаратные средства позволяют достаточно быстро освоить эффективное управление машиной операторам, не прошедшим специальной подготовки.

**Подсистема дистанционного управления движением** была сопряжена с объектом управления и испытана в реальных условиях. В данную подсистему входят пульт оператора (рис. 3), состоящий из двух компьютеров, трех дисплеев, радиомодема, приемника телевизионного сигнала, органов управления (многофункциональные рукоятки, кнопки, а также клавиатура компьютера) и выносных антенн, и бортовое оборудование в составе радиомодема и передатчика телевизионного сигнала. Кроме того, при дистанционном управлении использовались бортовые ресурсы общего назначения, это: телекамеры, ЭВМ верхнего уровня управления и подсистема нижнего уровня управления движением.

В дистанционном режиме управления используются обзорно-поисковая СТЗ, система дневного и ночного видения и система стеровидения, размещенные на башне танка (рис. 4).

Обзорно-поисковая СТЗ выполнена в защищенном варианте – видеокамера установлена в защитном кожухе неподвижно. Круговой обзор осуществляется за счет кругового вращения призмы над камерой вокруг ее оптической оси. Возникающий при этом поворот изображения компенсируется электронным способом с

помощью бортового вычислителя. Такой подход упрощает механическую часть системы, исключает необходимость использовать вращающееся контактное устройство (ВКУ) для передачи видеосигнала. С помощью специальных алгоритмов изображения «склеиваются» в единую круговую панораму (рис. 5).



*Рис. 3. Общий вид пульта дистанционного управления: 1, 2, 3 – мониторы СТЗ управления движением и оружием, отображения местоположения объекта управления на электронно-цифровой карте и камеры кругового обзора пульта управления соответственно; 4, 5, 6 – многофункциональные рукоятки управления движением (или оружием), переключения скоростей и камеры кругового обзора пульта управления соответственно*



*Рис. 4. Размещение средств видеонаблюдения на объекте управления: 1 – обзорно-поисковая СТЗ; 2, – система дневного и ночного видения; 3 – система стеровидения.*



*Рис. 5. Круговая панорама обзорно-поисковой СТЗ*

Обзорно-поисковая СТЗ работает в комплексе с другими средствами видеонаблюдения, позволяющими оператору дистанционного управления выбрать любую автоматически обнаруженную цель для более детального рассмотрения ее природы, и затем, в случае необходимости, дать команду на наведение оружия. В итоге цель попадает в поле зрения прицела, также оборудованного видеокамерой. Таким образом, автоматизированная обзорно-поисковая СТЗ оказывает помощь оператору в обнаружении, выборе цели и выдаче целеуказания.

В состав СТЗ дистанционного управления движением входят два оптоэлектронных модуля для работы в дневных и ночных условиях, оснащенные системой очистки и обогрева входной оптики, закрепленные на двухкоординатном опорно-поворотном устройстве (рис. 4).

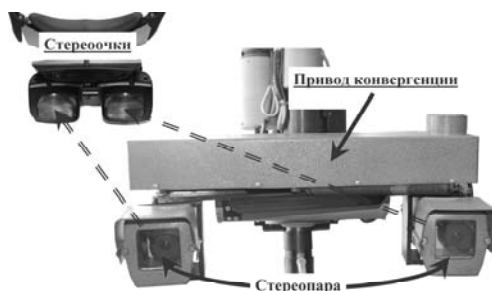
Оператором в качестве видео-контрольного устройства может использоваться шлем виртуальной реальности (рис. 6), который при своей компактности обеспечивает заполнение изображением всего поля зрения и удобное наведение видеокамер поворотом головы (благодаря датчикам, встроенным в шлем). В результате возникает иллюзия присутствия на объекте управления.



*Рис. 6. Шлем виртуальной реальности*

Динамика и точность приводов опорно-поворотного устройства достаточны, чтобы направление видеокамер было согласовано с положением головы.

Еще одно преимущество применения шлема виртуальной реальности при дистанционном управлении движением – возможность создания эффекта объемного изображения при использовании стереопары. Использование стереопары потребовало добавления привода конвергенции (рис. 7), который сводит видеокамеры в одну точку, совмещая поле зрения двух изображений.



*Рис. 7. Применение стереопары*

Компоновка привода горизонтального наведения опорно-поворотного устройства позволяет устанавливать более одного модуля СТЗ на общей оси, таким образом, чтобы не было взаимного перекрытия зон обзора у нескольких операторов.

ров, одновременно и независимо друг от друга выполняющих различные задачи в режиме дистанционного управления. Например, в компоновке, приведенной на рис. 4, верхний модуль (2) используется для обзора окружающего пространства, ориентирования на местности и выдачи целеуказания, а нижний стереомодуль (3) для управления движением в ближней зоне. Все варианты приводов имеют встроенное ВКУ, которое снимает ограничения на угол поворота по азимуту.

В режиме дистанционного управления предусмотрены средства осуществления телеметрии, позволяющие как предавать вектора состояния объекта на пульт дистанционного управления, так и фиксировать их в виде электронных протоколов для последующего анализа выполненных заездов.

Результаты испытаний в условиях полигона показали, что зона уверенного управления составляет:

- ◆ 3 км при прямой видимости;
- ◆ 1–1.5 км в условиях затенения.

**Автономная система управления движением (АСУД)** в настоящее время реализована в виде отдельных аппаратных блоков и программных модулей, интегрированных в информационно управляющую систему роботизированного танка (рис. 8). Проведены испытания АСУД в различных условиях внешней среды (бетонные и грунтовые дороги, бездорожье).

Одним из основных режимов автономного движения является режим программного движения. АСУД в данном режиме должна обеспечивать автоматическую обработку маршрутного задания, которое может быть представлено в виде ломанной линии на цифровой карте местности, при этом отдельные отрезки ломанной могут быть взвешены скоростями их прохождения.



Рис. 8. Блоки АСУД на объекте управления

Для автоматической обработки маршрутного задания АСУД имеет в своем составе:

- ◆ картографическую базу данных, позволяющую задавать и корректировать маршрутное задание;
- ◆ навигационную систему, позволяющую получать текущие значения широты, долготы, курса и скорости объекта управления;
- ◆ подсистему нижнего уровня управления, обеспечивающую обработку базового набора команд (разгон, торможение, прохождение заданного отрезка пути, останов, поддержание заданных скорости, курса и радиуса поворота).

На рис. 9 приведена временная диаграмма курсового угла при отработке маршрутного задания – движение по прямой, по кругу, затем снова по прямой обратным курсом (здесь 0 и 360 градусов – одна и та же курсовая координата).

После проведения испытаний выполнена оценка качества отработки базового набора команд (включающего пуск-останов двигателя, управление газом, переключение передач, выполнение поворотов на заданный угол, поддержание заданной скорости и курсового угла, прохождение заданного отрезка пути) и маршрутного задания (табл. 1).

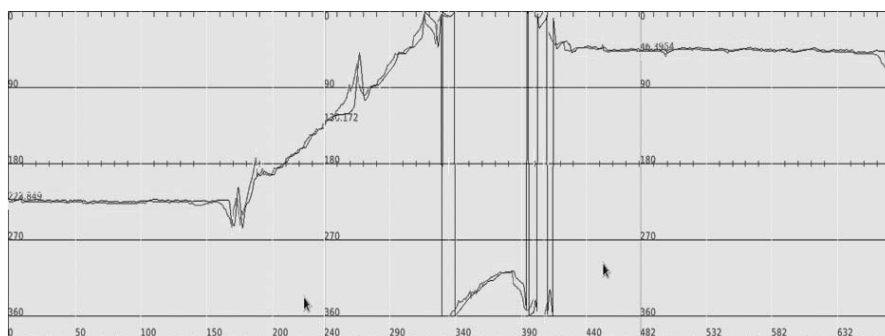


Рис. 9. Диаграмма курсового угла при отработке маршрута

Таблица 1

**Оценка качества отработки команд и маршрутного задания**

Время ввода маршрутного задания, мин	менее 3
Точность определения текущих координат, м	$\pm 3$
Отклонение фактической траектории от заданной, м	$< 3$
Время задержки выполнения команды, с	$< 0.7$
Точность поворота, град.	$\pm 1$
Точность удержания курсового угла, град.	$\pm 1$
Диапазон используемых передач	1÷5
Допустимая скорость объекта управления, км/час	до 40

Режим программного движения может быть использован для решения широкого круга задач, такие как: автоматический возврат по ранее пройденной траектории, прохождение отдельных опасных зон в режиме “молчания”, а также для отработки локальных траекторий, автоматически построенных по данным бортовых систем объемного зрения, навигации и картографии.

Поставщиком основного объема необходимой для обеспечения автономного движения информации является СТЗ. Требования, предъявляемые к СТЗ, обеспечивающих автономные режимы движения, сформулированы в [1–3]. Там же описаны методы использования таких СТЗ и алгоритмы их функционирования.

Для обработки и анализа дальнометрической информации используется ЭВМ с соответствующим прикладным программным обеспечением, которое состоит из следующих программных модулей:

- ◆ модуль восстановления и анализа геометрии внешней среды;
- ◆ модуль классификации внешней среды по критерию проходимости;
- ◆ модуль планирования траектории движения.

Модуль восстановления и анализа геометрии, используя дальнометрическое изображение внешней среды, поступающее от 3D-сенсора, и информацию об угловых и линейных положениях корпуса объекта управления, формирует геометрическую модель внешней среды.

Модуль классификации выполняет анализ полученной геометрической модели с учетом кинематических и динамических характеристик объекта управления и классифицирует отдельные участки внешней среды по критерию их проходимости в диапазоне возможных скоростей. В результате работы данного модуля формируется модель проблемной среды в виде дискретных участков плоскости перемещений с приписанными им соответствующими признаками.

Модуль планирования траекторий движения, используя модель проблемной среды, навигационные данные и маршрутное задание, строит безопасную целенаправленную траекторию движения. В качестве навигационных данных здесь используются курсовой угол и линейные координаты (широта и долгота) объекта управления на поверхности перемещения, поставляемые GPS-приемником. Маршрутное задание представляет собой координаты последовательности точек поверхности перемещений, которые должен посетить объект управления.

В настоящее время созданы СТЗ дальней зоны обзора, ближней зоны обзора и кругового обзора на базе промышленно выпускаемых сканирующих лазерных дальномеров, соответственно LMS 291 (2D-лазерный сенсор), UTM-30LX (2D-лазерный сенсор) и HDL-32E LiDAR (3D-лазерный сенсор). Для первых двух были созданы следящие приводы, обеспечивающие сканирование по углу возвышения.

Расположение сканирующего лазерного дальмера дальней зоны (СЛД ДЗ) на объекте управления показано на рис. 8, а зона обзора на рис. 10 (здесь *Соб.* и *Ст.* – соответственно глубина обзора и длина тормозного пути, значения которых зависят от скорости движения объекта управления).

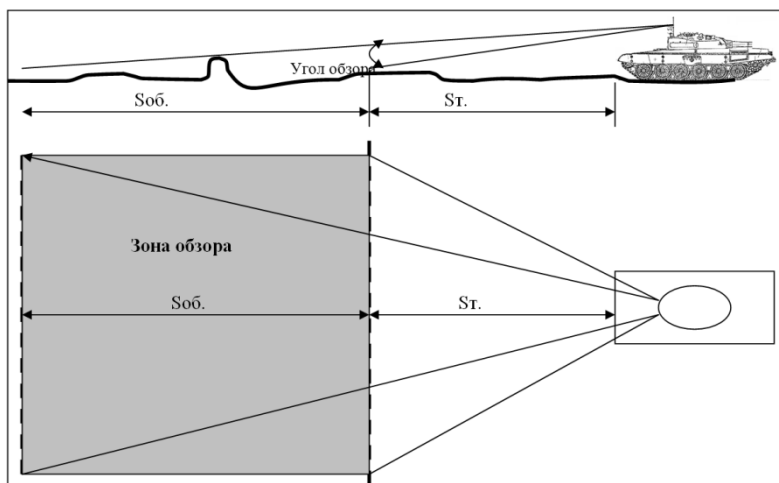


Рис. 10. Зона обзора СТЗ дальней зоны

В зависимости от скорости движения выбирались различные законы управления сканатором по углу возвышения, обеспечивающие упреждающий обзор с учетом возможного пути торможения. На рис. 11 приведен закон управления сканатором по углу возвышения для скорости движения 40 км/час.

Для данного закона управления для горизонтальной опорной поверхности *Ст.*  $\approx 13$  м, *Соб.*  $\approx 7$  м, время обзора  $\approx 0.3$  с, за которое объект управления проходит  $\Delta S \approx 3$  м. При этом на первом участке обзора при увеличении угла возвышения зона обзора удлиняется на  $\Delta S$ , а на втором участке обзора при уменьшении угла возвышения сжимается на  $\Delta S$ . На участках разгона-торможения сканатора объект управления также проходит не более  $\Delta S$ , поэтому соседние зоны обзора взаимно

пересекаются и, следовательно, геометрическая модель будет сформироваться в процессе движения без разрывов. При уменьшении скорости движения объекта управления глубина обзора  $S_{об}$  увеличивается за счет уменьшения длины тормозного пути  $S_t$  (рис. 10).

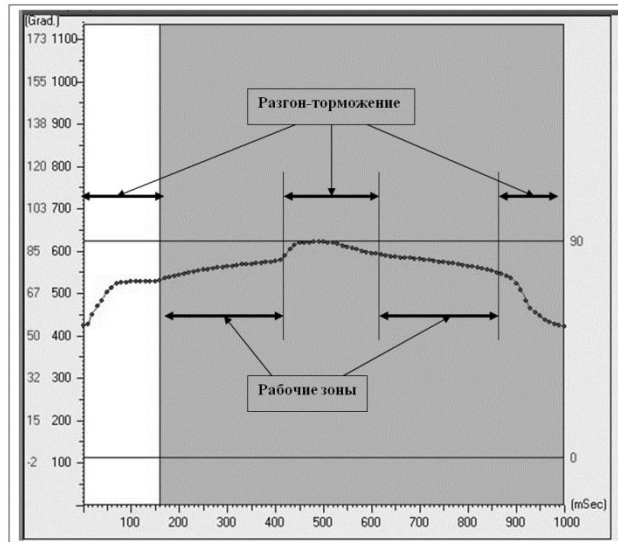


Рис. 11. Закон управления сканатором по углу возвышения

Для определения угловых и линейных положений корпуса танка использованы:

- ◆ навигационный модуль угловых положений AHRS M2;
- ◆ штатный гиропалукомпас ГПК-59 со встроенным датчиком «вал-код»;
- ◆ GPS-приемник;
- ◆ счетчик пройденного пути.

На рис. 12, а,б показана трасса с препятствиями и ее геометрическая модель, автоматически построенная по серии 5 дальнометрических изображений, полученных на скорости 40 км/ч на участке длиной 45 м.

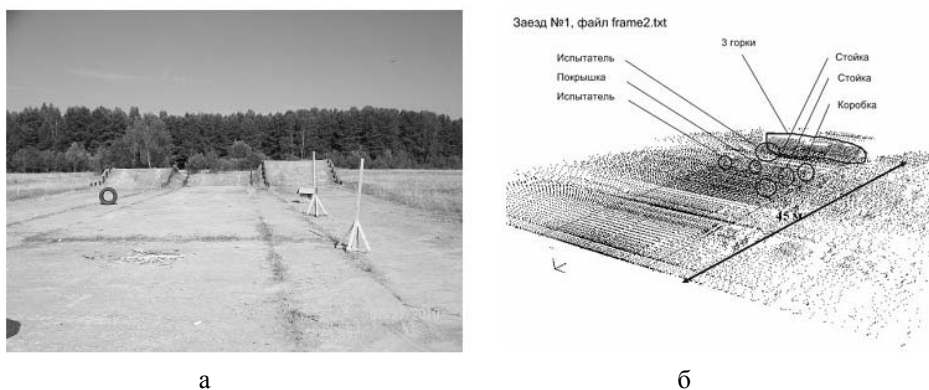
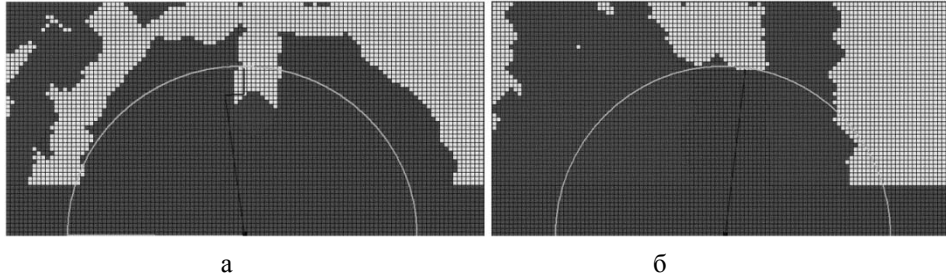


Рис. 12. Формирование геометрической модели: а – трасса с препятствиями; б – геометрическая модель трассы



На рис. 13 показаны результат работы подсистем формирования модели проблемной среды и планирования локальной траектории по данным СТЗ дальней зоны обзора.



*Рис. 13. Формирование модели проблемной среды и локальной траектории:  
а – объезд препятствия с лева; б – движение по дороге с поворотом*

СТЗ ближней зоны обзора приведена на рис. 14. На приводе сканирования по углу возвышения закреплены 2D-лазерный сенсор и видео камера, что позволяет получать дальнометрические и видео изображения внешней среды. СТЗ ближней зоны формирует геометрическую модель и модель проблемной среды для маневрирования на малых скоростях в условиях городской застройки. Результат работы СТЗ ближней зоны обзора приведен на рис. 15. Здесь в верхней части рисунка приведено видеоизображение внешней среды и ее геометрическая модель, в нижней части – модель проблемной среды (выполнено распознавание препятствий и разрешенных для движения участков) и безопасная траектория движения.



*Рис. 14. СТЗ ближней зоны обзора*

Для введения и обработки маршрутного задания АСУД имеет в своем составе картографическую базу данных о среде передвижения. Картографическая база данных содержит цифровую карту местности и сформированный на ее основе граф возможных путей (рис. 16).

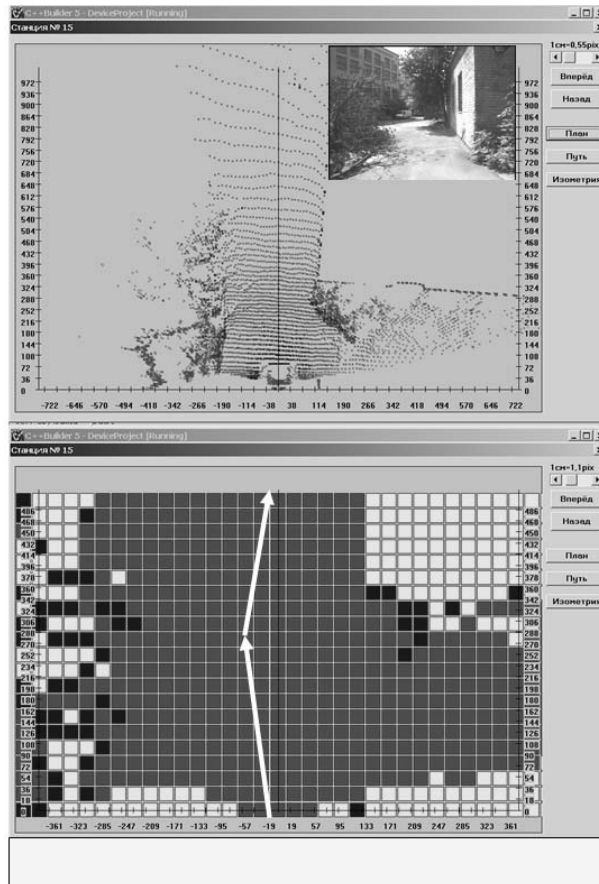


Рис. 15. Результат работы СТЗ ближней зоны обзора и, подсистемы планирования траектории движения



Рис. 16. Картографическая база данных среды передвижения

**Заключение.** Проведенные экспериментальные исследования позволили настроить разработанную аппаратно-приборную часть и отладить соответствующие алгоритмы и программы основных подсистем и модулей в составе реальных объ-

ектов управления в реальных средах функционирования, что является важным этапом в решении задач и проблем роботизации наземной техники. Полученные результаты находят свое практическое применение в различных отраслях народного хозяйства. Например, в настоящее время по заказу МЧС РФ выполняется ОКР по созданию комплекта программно-аппаратных средств, обеспечивающих автоматический возврат дистанционно-управляемого мобильного пожарного робота в точку старта или в зону уверенного радиообмена при потере радиосвязи между пультом и объектом управления. В рамках этой же ОКР выполняется модернизация пульта дистанционного управления, заключающаяся в том, что оператору будет предоставлена виртуальная объемная модель рабочей зоны, оперативно формируемая по данным бортовых систем объекта управления.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кутузов А.Н., Лапиов В.С., Носков В.П., Рубцов И.В.* Опыт разработки и создания автономного интеллектуального робототехнического комплекса на базе серийного танка Т-72: Науч.-технич. сборник Оборонная техника. – 2000. – № 1-2. – С. 15-18.
2. *Буйолов Г.А., Носков В.П. и др.* Аппаратно-алгоритмические средства формирования модели проблемной среды в условиях пересеченной местности: Сб. научн. тр. Управление движением и техническое зрение автономных транспортных роботов. – 1989. – С. 61-69.
3. *Кузин Ю.Р., Носков А.В., Носков В.П.* Разработка и исследование СТЗ для обеспечения автономного движения: Науч.-технич. сборник Оборонная техника. – 2001. – С. 34-39.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Д.Д. Габриэлян.

**Калинин Алексей Владимирович** – НИИ СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана; e-mail: noskov\_mstu@mail.ru; 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5; тел.: 84992636019; к.т.н.; с.н.с.

**Носков Владимир Петрович** – зав. сектором; кафедра специальной робототехники и мехатроники; к.т.н., доцент.

**Рубцов Иван Васильевич** – зав. кафедрой специальной робототехники и мехатроники; начальник отдела НИИ СМ; к.т.н.

**Kalinin Alexey Vladimirovich** – RI SM Bauman MSTU; e-mail: noskov\_mstu@mail.ru; 5, 2-ya Baumanskaya street, Moscow, 105005, Russia; phone: 84992636019; cand. of eng. sc.; senior research.

**Noskov Vladimir Petrovich** – head the sector; the department of special robotics and mechatronics; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Rubtsov Ivan Vasil'evich** – the department of special robotics and mechatronics; head the department ; cand. of eng. sc.

УДК 681.327.12

**Мусаев Максуд Мурад Оглы, Н.Н. Кисель**

#### **ЧИСЛЕННОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СПИРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Статья посвящена получению и сравнению частотных зависимостей коэффициентов прохождения метаструктуры основанной на спиральных элементах. Экспериментальные значения коэффициента прохождения рассматриваются при различной ориентации периодической структуры, относительно раскрыва рупора. Априорные расчеты ко-*