

УДК 004.896, 004.932.2, 004.823

**С.М. Соколов, А.А. Богуславский, А.И. Васильев, О.В. Трифонов,  
В.Г. Назаров, Р.С. Фролов**

### **МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО СОЗДАНИЯ И ОБНОВЛЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ КАРТ**

*Рассматривается задача оперативного картографирования. Предлагается программно-аппаратный комплекс для установки на транспортном средстве (ТС), обеспечивающий автоматизацию оперативного картографирования районов, прилегающих к пути следования ТС. Описывается архитектура и программно-математическое обеспечение комплекса. Одной из главных информационных систем комплекса является система технического зрения (СТЗ), объединяющая все составляющие комплекса. Приводятся результаты экспериментов с действующими прототипами комплекса. Даются оценки точностных характеристик.*

*Электронные навигационные карты; система технического зрения; стереозрение; глобальная и локальная навигации; картографирование.*

**S.M. Sokolov, A.A. Boguslavsky, A.I. Vasilyev, O.V. Trifonov, V.G. Nazarov,  
R.S. Frolov**

### **MOBILE COMPLEX FOR NAVIGATION MAPS OPERATIVE CREATION AND UPDATING**

*In article the problem of operative mapping is considered. The hardware-software complex for installation on a vehicle, providing automation of the areas adjoining to a road operative mapping is offered. The architecture and a software complex is described. One of the main information systems of a complex is the vision system integrating all components of a complex. Results of experiments with complex operating prototypes are resulted. Precision characteristics estimations are given.*

*Electronic navigation charts; vision system, stereovision; global and local navigation; mapping.*

**Введение. Цель и задачи комплекса.** В последние годы электронные карты являются неотъемлемой частью обеспечения целенаправленных перемещений широкого класса мобильных средств, начиная от навигаторов для пешеходов, наземных транспортных средств и заканчивая навигацией авиационных и спутниковых систем. При этом всё большее значение имеет актуальность используемых карт с точки зрения учёта текущих изменений путей перемещения и прилегающей инфраструктуры.

Целью создания мобильного комплекса для оперативного создания и обновления навигационных карт является повышение эффективности процессов формирования навигационных карт. Под эффективностью понимается:

- ◆ оперативность формирования (создания и уточнения) электронных карт (в пределе – в процессе движения транспортного средства (ТС); в англоязычной литературе SLAM – simultaneous localization and mapping);
- ◆ автоматизация рутинных операций, выполняемых человеком;
- ◆ высокая точность привязки при однократном обследовании (проезде) интересующего района;
- ◆ полнота регистрации объектов интереса (относительно заданного перечня);
- ◆ объединение данных различных информационных подсистем в реальном времени (темпе движения ТС);
- ◆ оперативное представление навигационной информации в виде, удобном для конечного потребителя (человека, автоматического устройства).

Из поставленной цели вытекают задачи, стоящие перед комплексом:

- ◆ Определение текущего положения ТС и аппаратуры сбора данных, систем технического зрения, в частности:
  - a) сбор данных глобальной навигационной системы (ГНС);
  - b) сбор данных локальной навигационной системы (ЛНС);
  - c) учёт априорной и внешней информации;
  - d) комплексирование всех данных о положении ТС и СТЗ.
- ◆ Выделение и определение положения объектов интереса в поле зрения СТЗ:
  - распознавание образов объектов интереса или их элементов в поле зрения СТЗ;
  - вычисление координат распознанных объектов в системе координат СТЗ;
- ◆ расчет положения объектов интереса в заданной системе координат;
- ◆ предоставление картографических данных потребителям.

**1. Программно-математическое обеспечение комплекса.** В основу математического обеспечения системы для бесконтактного определения трёхмерных координат объектов положена триангуляция с возможностью дополнения прямым дальнометрированием с помощью лазерных дальномеров [1,4,6].

Математическое моделирование всех расчётных схем даёт оценки достижимых точностей измерений (см. п. 4), а гибкость программной реализации алгоритмов позволяет маневрировать при выборе той или иной расчётной схемы для достижения требуемой точности с учётом ограничений на доступные аппаратные средства и время измерений.

Триангуляционные расчёты могут выполняться как с использованием фиксированной стереобазы, так и с помощью фотограмметрических методов при регистрации положений и ориентации плоскости изображения отдельных снимков анализируемой сцены.

Программное обеспечение образцов комплекса формируется из трех основных модулей: «Стереосистема», «ГИС» и «Центральный».

**Модуль «Стереосистема»** предназначен для выполнения измерений дальности до ориентиров по изображениям стереосистемы.

Заметим, что поля зрения видеокамер, входящих в стереопару могут использоваться и по отдельности при фотограмметрировании тех же сцен.

В функции этого модуля входят:

- ◆ получение данных о местоположении от сервера путевых координат (модуль «ГИС»);
- ◆ получение зрительных данных СТЗ с двумя полями зрения в реальном времени;
- ◆ отображение зрительных данных оператору;
- ◆ сохранение зрительных данных в форме файлов видеопоследовательностей;
- ◆ предоставление оператору возможности указания в окнах полей зрения соответствующих точек в ручном режиме;
- ◆ предоставление оператору возможности указать в одном из окон поля зрения объект интереса для автоматического обнаружения во втором поле зрения;
- ◆ расчёт расстояния до объекта интереса, заданного соответствующими точками, в режиме триангуляции;
- ◆ расчёт расстояния до объекта интереса фотограмметрическим методом сопоставление массива соответствующих точек;

- ◆ определение местоположения объекта интереса в географической системе координат.

**Модуль «Центральный»** предназначен для обработки зрительных данных в отдельном поле зрения с целью автоматического обнаружения объектов интереса и определения их характеристик. Он обеспечивает получение зрительных данных СТЗ в выбранном поле зрения, обнаружение объектов интереса и передачу результатов измерений по компьютерной сети модулю «ГИС».

**Модуль «ГИС»** предназначен для отслеживания траектории движения и ориентации беспилотного ТС и передачи соответствующих данных другим приложениям СТЗ по компьютерной сети. Траектория движения и выполняемая миссия отображаются на бортовой карте местности. Основные функции:

- ◆ отображение карты местности в области выполняемой миссии с наложением векторных слоев, отмечающих объекты интереса;
- ◆ отображение траектории движения лаборатории на бортовой карте местности;
- ◆ отображение траектории выполняемой миссии на карте местности;
- ◆ отображение меток ориентиров – объектов интереса для выполнения измерений дальности до них;
- ◆ получение данных о координатах от измерительных подсистем различных типов – беспилотной инерциальной навигационной системы (БИНС), ГНС, счисления пути;
- ◆ передача данных о текущих координатах с временной привязкой другим приложениям СТЗ по компьютерной сети;
- ◆ прием данных о выполненных измерениях от приложений СТЗ и отображение результатов на карте местности;
- ◆ сохранение данных о выполненных измерениях в базе данных.

**2. Архитектура комплекса.** Программно-аппаратный комплекс для оперативного создания и обновления навигационных карт, строится как открытая наращиваемая система.

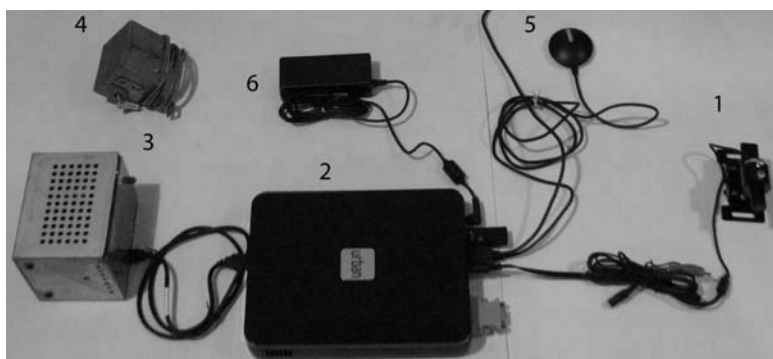
В построении навигационной системы используются три составляющие так называемого «навигационного креста» [1, 2, 7]. Здесь задействованы: ГНС – глобальная радионавигационная спутниковая система; ЛНС – локальная навигационная система, включающая в себя процессы счисления пути и подкорректировки по ориентирам, оператор системы.

Программное обеспечение комплекса строится по компонентной технологии. За основную программу берётся программа обработки зрительных данных, как самая ресурсоёмкая и требующая больших усилий для обеспечения работы в масштабе реального времени. Программное обеспечение конкретной прикладной задачи формируется на основе компонентного каркаса-шаблона программного обеспечения информационной подсистемы мобильной системы [3].

На рис. 1 представлен пример компоновки аппаратной части модулей комплекса.

На описываемом этапе исследований в составе комплекса рассматривались такие модули:

- ◆ модуль ЛНС на основе традиционного одометра и БИНС;
- ◆ модули для выделения ориентиров в окружающем пространстве;
- ◆ модуль ГНС (GPS/ГЛОНАСС);
- ◆ модуль специальной БД.



*Рис. 1. Пример компоновки бортовой аппаратуры для комплекса оперативного картографирования: 1 – видеокамера на крепежном конструктиве; 2 – вычислительно-управляющий блок; 3 – трёхкоординатный акселерометр; 4 – однокоординатный акселерометр; 5 – GPS-антенна; 6 – блок преобразователя питающего напряжения*

Более подробно об этих модулях говорится в работах [8]. Программно-аппаратные модули СТЗ включают: регистрирующий блок, вычислительно-управляющий блок и соответствующее программное обеспечение. В качестве регистрирующих блоков выступают видеокамеры, закреплённые под разными углами к продольной оси ТС (рис. 2,3).



*Рис. 2. Общий вид передвижной лаборатории оперативной диагностики поверхности автомобильных дорог*

В зависимости от основной задачи, решаемой мобильной системой, и условий, в которых она выполняется, могут использоваться различные варианты компоновки модулей системы информационного обеспечения. В разделе по описанию экспериментов (п. 3) представлены несколько вариантов комплексирования навигационных модулей.

При создании образцов средств были использованы два основных методических приёма: COTS-технология в компоновке аппаратной и программной частей системы и компонентный подход к формированию программного обеспечения информационных систем реального времени.

**3. Результаты экспериментов.** Модули описываемого программно-аппаратного комплекса в различных сочетаниях были опробованы в экспериментах по решению практических задач.

**Комплекс Передвижной лаборатории для оперативной диагностики состояния дорожного покрытия (ПЛОД).** ПЛОД принадлежит к быстро развивающемуся направлению бесконтактного контроля качества дорожного покрытия (рис. 2). Отличительной особенностью разработки является автоматический компьютерный анализ поступающих данных в реальном времени. ПЛОД предлагает не отложенный анализ заснятой видеoinформации «вручную» в более комфортных условиях, но не менее рутинно, а готовые данные для принятия решения об отправке ремонтных бригад по указанным адресам.

Задачей навигационных модулей в составе комплекса ПЛОД была привязка результатов измерений, выполняемых модулями СТЗ со структурированным подсветом, к GPS/ГЛОНАСС-координатам и относительным координатам специальной базы данных (ГИС департамента ЖКХ и Б).

Точность привязки инспектируемых объектов по результатам контрольных объездов улиц Москвы и МКАД протяжённостью до 100 км со средней скоростью 60 км/ч составила  $\pm 1$  м, включая проезд тоннелей и других инженерных сооружений, образующих так называемые «колодцы» – зоны невидимости

Сокращение от commercial off-the-shelf «коммерческий на полке». Прилагательное, которое описывает программные продукты или аппаратные средства, доступные для продажи широкой публике. Подобные продукты могут быть легко встроены в существующие или разрабатываемые системы без дополнительных усилий спутников систем GPS/ГЛОНАСС. Специальные эксперименты по оценке точности модуля ЛНС на основе бесконтактного одометра (проезд по замкнутой траектории по асфальтовому покрытию в дождливую погоду) показали точность счисления пройденного пути 0,3 %.

**Экспериментальный образец комплекса по навигационному обеспечению мобильных средств и получению пространственно-временных знаний о навигационной обстановке в заданном районе.** Одной из задач современной цифровой картографии является оперативное навигационное обеспечение мобильных средств и топографическая привязка интересующих объектов, расположенных вдоль маршрутов движения этих систем.

Для отработки архитектуры и алгоритмов работы подобных комплексов был сформирован действующий исследовательский макет информационной системы для установки на легковой автомобиль (рис. 3).

Компоновка программно-аппаратной части СТЗ этого комплекса следующая. Регистрирующие блоки (видеокамеры, антенны GPS/ГЛОНАСС) устанавливаются на магнитных штативах на крышу автомобиля (рис. 3) или подвешиваются на присосках к стёклам. Вычислительно-управляющие блоки в виде компактных носимых системных блоков (см. рис. 1) располагаются в салоне автомобиля.

В вычислительно-управляющих блоках осуществляется обработка видеоданных, принимаемых с каждого из полей зрения. На каждом изображении (кадре видеопоследовательности) указываются характерные точки образа выбранного объекта-ориентира<sup>4</sup>. Эти же точки указываются на нескольких последующих изображениях той же сцены при известных перемещениях системы. Более подробно с методами выделения характерных точек изображения можно познакомиться в работах [2, 4].

Фотограмметрическими методами по известному базису в вычислительном модуле определяются координаты указанных точек и всего объекта-ориентира в глобальной системе координат.



Рис. 3. Регистрирующие блоки экспериментального образца комплекса, установленные на легковом автомобиле: 1 – вперёд смотрящая камера; 2 – боковая камера; 3 – камера бесконтактного одометра

Точность в привязке 12 объектов вдоль контрольного маршрута, протяжённостью 40 км и проходимого со средней скоростью около 40 км/ч составила  $\pm 1$  м (по отношению к координатам, определённым по GPS-приёмнику в стационарных условиях) и ручной геодезической привязке. Пример выходных данных системы приведён на рис. 4.

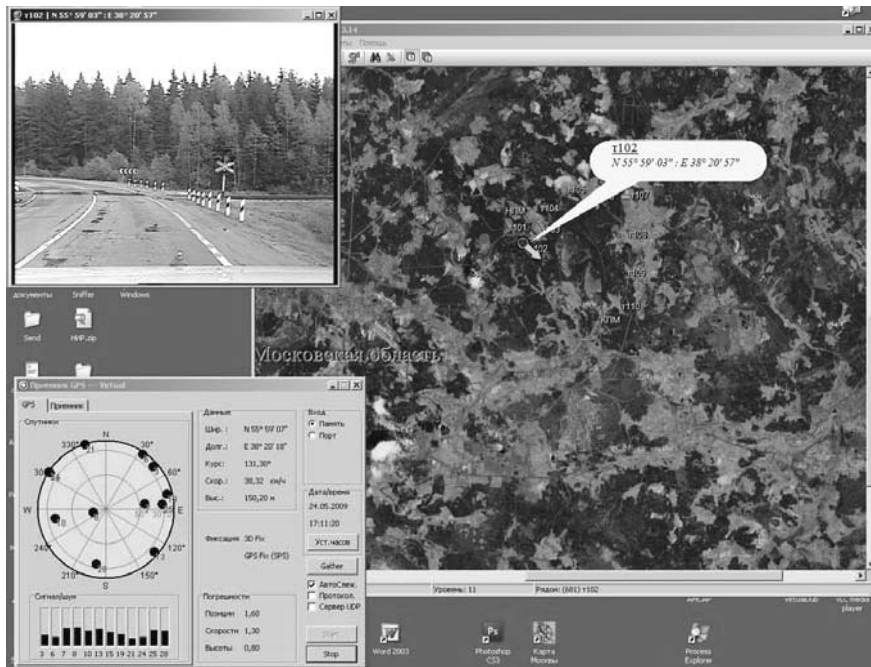


Рис. 4. Результаты привязки контрольных объектов (в системе координат WGS-84)

На данном этапе исследований это указание делается оператором системы. В дальнейшем, по мере развития формализованных описаний объектов ориентиров, эти точки могут выбираться системой автоматически. В описываемых экспериментах в качестве объектов ориентиров использовались дорожные знаки, указатели и объекты инфраструктуры (столбы, шлагбаумы, павильоны остановок общественного транспорта и т.п.), расположенные в пределах 100 м от проезжей части.

**4. Оценки погрешностей в определении координат при помощи стереопар, установленных на подвижном средстве.** Кроме приведённых примеров, на базе исходных данных, полученных в экспериментах на мобильном средстве, и анализа математических моделей, положенных в основу стереоскопической системы, были проведены оценки точностей, которые могут быть достигнуты при использовании подобных систем.

Минимальные ошибки в определении расстояния модулем «Стереосистема» достигаются в случае, когда базис фотографирования соизмерим с дальностью до объекта интереса. На рис. 5 показан график зависимости ошибки в определении дальности по стереоизмерениям от базиса стереосистемы. Дальность до объекта интереса – 100 м, ошибка по определению угла оптической оси – 3 градуса, ошибка в определении базиса – 10 %. По оси абсцисс откладывается величина базиса фотографирования (в м), по оси ординат – ошибка в процентах от точно известной величины дальности до объекта интереса. Три кривые на рис. 5 соответствуют нескольким вариантам выбора проецирующего вектора при численном моделировании стереоизмерений (левый край, центр и правый край светочувствительной матрицы).

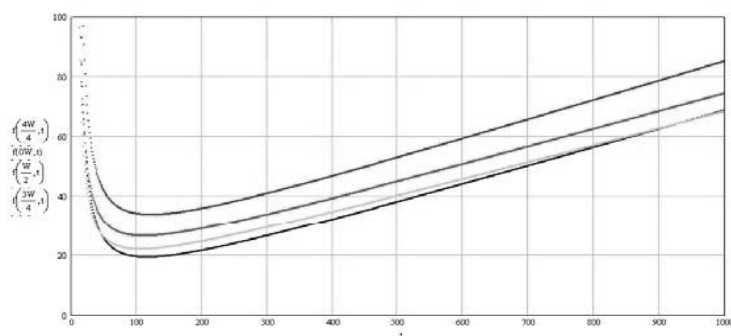


Рис. 5. Зависимости ошибки в определении дальности по стереоизмерениям от базиса стереосистемы

На рис. 6 показано влияние точности определения угловой взаимной ориентации стереопары при величине стереобазы 3 м, объект находится на расстоянии 100 м. Ошибка в градус приводит к неточности в 150–300 %. Увеличением стереобазы эту неточность удастся снизить на порядок (рис. 5).

Помимо приведённых примеров, были выполнены оценки влияния и других характеристик системы измерений. В частности, размеры регистрирующих матриц и искажения оптической системы.

В качестве интегральной характеристики экономически целесообразной измерительной системы была выбрана точность привязки объектов в плане и по высоте 10 м. Эта величина по опыту ряда организаций, специализирующихся на использовании цифровых карт, является хорошей точностью для наиболее распространенных цифровых карт формата SXF для масштаба 1:200 000.

Подобные же расчёты показывают, что при снятии жёстких ограничений на аппаратные комплектующие, в частности при использовании видеокамер с матрицами высокого разрешения, возможно достижение точности в  $\pm 1$  м.

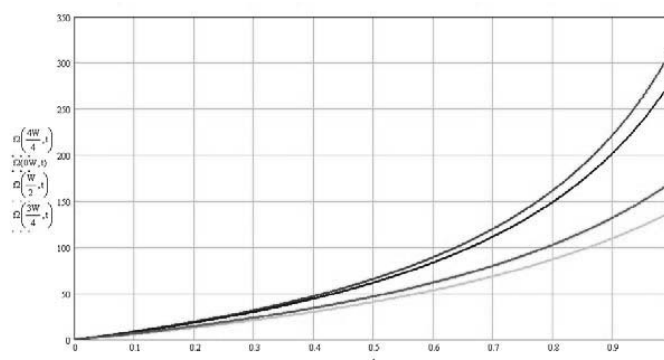


Рис. 6. Зависимость точности определения положения объекта интереса от ошибки определения угла взаимного ориентирования (при величине стереобазы 3 м)

**Заключение.** В работе предложен программно-аппаратный информационный комплекс для оперативного формирования цифровых навигационных карт.

Архитектура комплекса предполагает использование в качестве основного информационного средства об объектах внешней среды видеосистемы. Определение положения и ориентации транспортного средства в пространстве осуществляется за счёт комплексирования средств глобальной и локальной навигации.

Разработана и реализована компоновка экспериментального комплекса по навигационному обеспечению мобильных средств и получению пространственно-временных знаний о навигационной обстановке района, прилегающего к пути следования ТС. Основу средств сбора данных об окружающих объектах составляют видеокамеры, которые используются как в режиме стереосъёмки, так и для фототриграмметрирования. Программно-аппаратная архитектура комплекса открытая, допускающая перестройку под конкретное транспортное средство и навигационное оборудование в соответствии с решаемой задачей.

Результаты экспериментов с образцом комплекса показали работоспособность комплекса в реальных условиях эксплуатации и обеспечили хорошие точности в привязке объектов интереса по результатам объезда контрольного маршрута.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Платонов А.К., Зуева Е.Ю., Кирильченко А.А., Соколов С.М. Формальные подходы к проектированию алгоритмов информационного обеспечения мобильных систем (выбор пути, навигация, надёжность). – М.: Препринт Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2008. – № 19. – 32 с.
2. Богуславский А.А., Кирильченко А.А., Платонов А.К., Соколов С.М., Трифонов О.В., Ярошевский В.С. Построение описания внешней среды в системах информационного обеспечения мобильных робототехнических комплексов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 12. – С. 15-24.
3. Богуславский А.А., Соколов С.М. Компонентный каркас для разработки программного обеспечения систем технического зрения реального времени // Труды II Всероссийской научной конференции "Методы и средства обработки информации". – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005. – С. 337-343.
4. Платонов А.К., Соколов С.М., Богуславский А.А., Трифонов О.В. Многофункциональная система информационного обеспечения транспортных средств // Сб. материалов Международной конференции «Прогресс транспортных средств и систем-2009». – Волгоград, 2009. – С. 95-96.
5. Sokolov S.M., Boguslavsky A.A., Kufin F.A. Vision System for Relative Motion Estimation from Optical Flow // Proc. 13th Intern. Conf on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI 2009), Orlando, Florida, USA, July 10-13, 2009.



6. *Александрова А.А., Ахтёров А.В., Воронин А.Ю., Кирильченко А.А., Соколов С.М., Швайковский Е.В.* Основы теоретической робототехники. Теория толерантных пространств (обзор) // Препринт Ин-та прикл. матем. им. М.В. Келдыша РАН. – 2009. – № 45. – 25 с.
7. *Платонов А.К., Соколов С.М., Сазонов В.В., Богуславский А.А., Трифонов О.В., Куфтин Ф.А., Васильев А.И., Моксин К.А.* Программно-аппаратный комплекс средств навигации мобильных систем // Вопросы оборонной техники. Сер. 9. Специальные системы управления, следящие приводы и их элементы. – 2010. – № 1-2. – С. 47-55.
8. *Соколов С.М., Платонов А.К., Богуславский А.А., Куфтин Ф.А., Моксин К.А.* Бесконтактная одометрия в составе бортовых навигационных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 3 (104). – С. 64-68.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.Х. Пшихопов.

**Соколов Сергей Михайлович**

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН.

E-mail: sokolsm@keldysh.ru.

125047, г. Москва, Миусская пл., 4.

Тел.: 84992507994.

Ведущий научный сотрудник; д.ф.-м.н.; профессор.

**Богуславский Андрей Александрович**

E-mail: anbg@mail.ru.

Старший научный сотрудник; д.ф.-м.н.; доцент.

**Трифонов Олег Всеволодович**

E-mail: tob@mail.ru.

Старший научный сотрудник; к.т.н.

**Васильев Антон Игоревич**

E-mail: ANBAC@mail.ru.

Аспирант.

**Назаров Виктор Георгиевич**

29 научно-исследовательский институт Министерства обороны РФ.

E-mail: geodez16@mail.ru.

107014, г. Москва, Попов пр., 6.

Тел.: 84992507994.

Старший научный сотрудник.

**Фролов Роман Сергеевич**

E-mail: geodez16@mail.ru.

Начальник лаборатории.

**Sokolov Sergey Mikhailovich**

Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences,  
4, Miusskaya Sq., Moscow, 125047, Russia.

E-mail: sokolsm@keldysh.ru.

Phone: +74992507994.

Leading Scientist; Dr. of Phis.-Math. Sc.; Professor.

**Boguslavskii Andrey Alexandrovich**

E-mail: anbg@mail.ru.

Senior Scientist; Dr. of Phis.-Math. Sc.; Professor.

**Trifonov Oleg Vsevolodovich**

E-mail: tob@mail.ru.

Senior scientist; Cand. of Eng. Sc.

**Vasilyev Anton Igorevich**

E-mail: ANBAC@mail.ru.

Postgraduate Student.

**Nazarov Victor Georgievich**

29 Scientific Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation.

E-mail: ANBAC@mail.ru.

6, Priests Avenue, Moscow, 107014, Russia.

Phone: +74992507994.

Senior Scientist.

**Frolov Roman Sergeevich**

E-mail: ANBAC@mail.ru.

Laboratory Chief.

УДК 681.518.3

**В.Е. Пряничников, В.П. Андреев, К.Б. Кирсанов, С.В. Кувшинов,  
Ю.С. Марзанов, Т.А. Никитина, В.Ю. Пронкин, Е.А. Прысев****ТЕХНОЛОГИИ МОДЕРНИЗАЦИИ И ОЧУВСТВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ  
РОБОТОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ\***

*Рассматривается задача организации управления как отдельным мобильным роботом (МР), так и их группировкой посредством объединения их информационно-измерительных систем и систем управления в локальную вычислительную сеть (ЛВС) с мобильными узлами. На примере создания управляемых многокамерных систем технического зрения для модернизации робототехнических комплексов МЧС России «BROKK-110D» и «BROKK-330» найдены пути решения проблемы передачи многопоточкового видео и команд управления по радиоканалу в условиях нестабильности и задержек сигналов в каналах связи. Реализована унифицированная структура информационно-управляющих процессов, протекающих в МР с дистанционными сенсорами. Рассмотрены пути совершенствования систем автономного и супервизорного управления колёсных и гусеничных роботов. На примере разработки адаптивного метода борьбы с геометрическим шумом многоэлементных датчиков ИК-излучения показана эффективность использования микропроцессорной обработки сигналов для коррекции искажений, вносимых датчиками информации.*

*Мобильный робот; информационно-измерительная система; вычислительная сеть; система технического зрения; дистанционные сенсоры; коррекция искажений.*

**V.E. Pryanichnikov, V.P. Andreev, K.B. Kirsanov, S.V. Kuvshinov,  
Yu.S. Marzanov, T.A. Nikitina, V.Yu. Pronkina, E.A. Prys'ov****TECHNOLOGIES OF MODERNIZATION AND SENSORICS ENHANCEMENT  
FOR SPECIAL PURPOSE MOBILE ROBOTS**

*In article the problem of the organisation of management both the robot separate a mobile th (MP), and their grouping by means of association of their information-measuring systems and control systems in the local computer network (LAN) with mobile knots is considered. On an example of creation of operated multichamber systems tehniche-skogo sight for modernisation робототехнических complexes of the Ministry of Emergency Measures of Russia «BROKK-110D» and «BROKK-330» многопоточкового video and management commands on a radio channel in the conditions of instability and delays of signals ways of the decision of a problem of transfer are found in communication channels. The unified structure of the information-operating processes proceeding in MP with remote sensor controls is realised. Ways sover-shenstvovaniya systems independent and супервизорного managements of wheel and caterpillar robots are consi-*

\* Работа частично поддержана грантом РФФИ 10-07-00612а.