

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

СИСТЕМА АВТОВОЖДЕНИЯ ТАНКА Т-72Б

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

E-mail: noskov_mstu@mail.ru; robot@sm.bmstu.ru

Ключевые слова: роботизированный танк, системы дистанционного и автономного управления, системы технического зрения и навигации, картографическая база данных.

Подсистема нижнего уровня управления роботизированного танка Т-72Б (рис. 1) представляет собой комплекс программно-аппаратных средств, предназначенных для непосредственного управления движением роботизированного танка в автоматическом, дистанционном, полуавтоматическом и ручном режимах. Автоматический режим используется при организации безэкипажного 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, системе управления (например, оптимальное автоматическое переключение передач). Управляющие

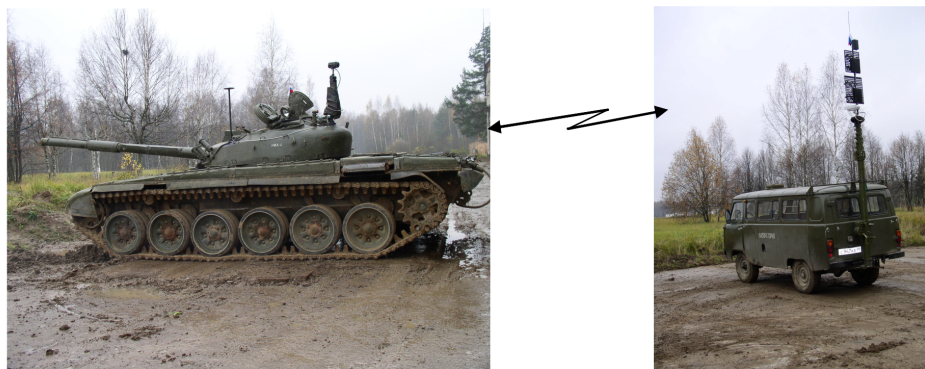


Рис. 1. Роботизированный танк с передвижным пультом дистанционного управления



Рис. 2. Рукоятка управления движением

воздействия оператора передаются подсистеме через рукоятку (джойстик), позволяющую реализовать достаточный для обеспечения движения набор сервисных возможностей комплекса (при отключении средств нижнего уровня объектом управляет механик-водитель с помощью штатных органов управления). Работа в автоматическом и в полуавтоматическом режимах выполняется под управлением бортового контроллера. Связь с верхним уровнем управления осуществляется через CAN-интерфейс, через который приходят управляющие сигналы от ЭВМ верхнего уровня при дистанционном или автономном движении.

При разработке алгоритмов и программ нижнего уровня управления были учтены логика и приемы вождения опытных механиков-водителей. Методы вождения в полуавтоматическом режиме обрабатывались с помощью рукоятки управления, установленной на башне у командирского люка (рис. 2).

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.

Программно-аппаратные средства нижнего уровня управления позволяют реализовать некоторые элементы автономного движения по жестким траекториям, такие как запись траекторий движения при управлении от рукоятки в память в виде соответствующей временной последовательности управляющих воздействий с последующим ее автоматическим воспроизведением. Экспериментальные заезды в данном режиме показали приемлемую точность повторения траектории только при идеальных условиях взаимодействия движителя с грунтом. Однако для гарантированной отработки запомненной траектории



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

с приемлемой точностью в реальных условиях эксплуатации машины необходимо использовать информацию от навигационных датчиков (курса и датчика пройденного пути), которые в настоящее время уже установлены на машину и включены в контуры систем нижнего и верхнего уровня управления движением.

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 (многофункциональных рукояток, кнопок, а также клавиатуры компьютера) и выносных антенн, и бортовое оборудование в составе радиомодема и передатчика телевизионного сигнала. Кроме того, при дистанционном управлении использовались бортовые ресурсы общего назначения: телекамеры, ЭВМ верхнего уровня управления и подсистема нижнего уровня управления движением.

При дистанционном режиме управления используются следующие средства видеонаблюдения, размещенные на башне танка (рис. 4 и 5): обзорно-поисковая СТЗ 1, система дневного и ночного видения 2 и система стеровидения 3.

Обзорно-поисковая СТЗ выполнена в защищенном варианте — видеокамера установлена в защитном кожухе неподвижно. Круговой об-



Рис. 4. Размещение средств видеонаблюдения на объекте управления



Рис. 5. Средства видеонаблюдения для дистанционного режима управления

зор осуществляется за счет кругового вращения призмы над камерой вокруг ее оптической оси. Возникающий при этом поворот изображения компенсируется электронным способом с помощью бортового вычислителя, из-за чего поле зрения приобретает вид круга. 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. 6), которая обновляется после каждого оборота призмы (каждые 3... 12 с в зависимости от дальности наблюдения).

Полученная панорама используется для обнаружения, селекции по информативным признакам и сопровождения целей. В целях сокращения периода обзора возможны возвратно-вращательные движения привода для наблюдений в ограниченном секторе ответственности.



Рис. 6. Круговая панорама обзорно-поисковой СТЗ



Рис. 7. Шлем виртуальной реальности

Обзорно-поисковая СТЗ работает в комплексе с другими средствами видеонаблюдения, позволяющими оператору дистанционного управления выбрать любую автоматически обнаруженную цель для более детального исследования 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 оптико-электронных модуля для работы в дневных и ночных условиях, оснащенные системой очистки и обогрева входной оптики, закрепленные на двухкоординатном опорно-поворотном устройстве (см. рис. 5).

На месте оператора дистанционного управления движением в качестве видеоконтрольного устройства (ВКУ) может использоваться шлем виртуальной реальности (рис. 7), что дает следующие преимущества:

- компактность пульта дистанционного управления (так как традиционный монитор занимает основную его часть);
- удобное наведение видеокамер поворотом головы (благодаря датчикам положения головы, встроенным в шлем);
- изображение занимает все поле зрения.

Благодаря последним двум обстоятельствам возникает иллюзия присутствия на объекте управления. Динамика и точность приводов опорно-поворотного устройства достаточны, чтобы направление видеокамер было согласовано с положением головы. Опорно-поворотное

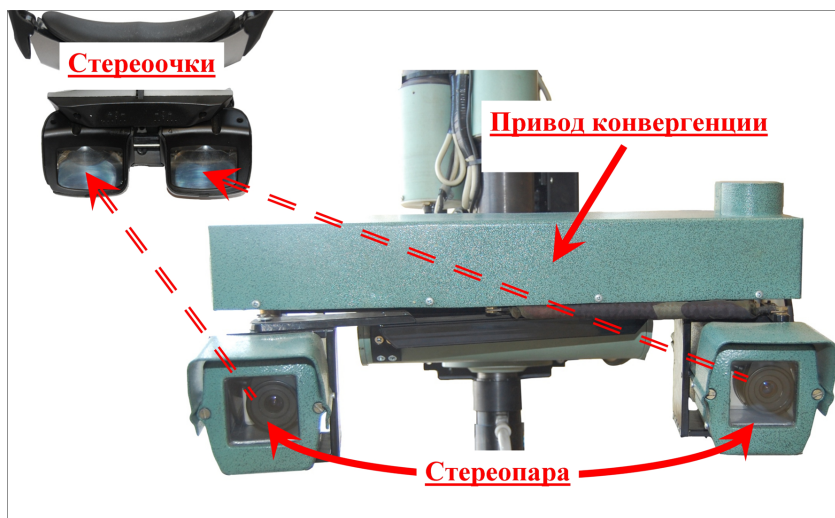


Рис. 8. Применение стереопары

устройство с видеокамерами воспроизводит все углы поворота головы, так как обеспечивает большой диапазон углов обзора: от -40° до $+90^\circ$ по вертикали и полный оборот по горизонту, что с запасом перекрывает возможные положения головы. На изображение может накладываться служебная информация.

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. 8), который сводит видеокамеры в одну точку, совмещая поле зрения двух изображений.

Угол сведения зависит от расстояния до сцены, а так как расстояние до объекта постоянно изменяется при поворотах головы, требуется автоматическая работа привода. Следящая система привода конвергенции замыкается в блоке управления вертикальным приводом, а задающее воздействие формируется в блоке обработки видеoinформации в результате корреляции изображений стереопары. Видеокамеры должны быть синхронизированы по кадровой частоте, чтобы не потерять частоту 25 Гц при переключении на стереоэффект. При отключении стереоэффекта на оба глаза подается изображение с одной и той же видеокамеры.

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 (одновременно и независимо друг от друга), выполняющих различные задачи в режиме дистанционного управления. Например, в компоновке (см. 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 вокруг вертикальной оси.

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

Подсистема дистанционного управления имеет следующие основные характеристики:

- телевизионный канал 2,5 ГГц с частотной модуляцией полного телевизионного сигнала (25 кадр./с);
- командный радиоканал 430 МГц;
- мощность бортового передатчика 0,5 Вт;
- мощность радиопередатчика пульта 5 Вт;
- масса пульта 25 кг.

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

- 3 км при прямой видимости;
- 1... 1,5 км в условиях затенения.

Подсистема автономного управления движением в настоящее время реализована в виде отдельных аппаратных блоков и программных модулей, которые также прошли испытания в реальных условиях в составе роботизированного танка. Здесь наибольшее внимание было уделено созданию и отладке СТЗ, которая является поставщиком основного объема необходимой для обеспечения автономного движения информации и представляет собой наиболее сложный блок как по аппаратному, так и по программному составу. Основные требования, предъявляемые к СТЗ, обеспечивающим автономные режимы движения, сформулированы в работах [1–4]. 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:

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

В модуле восстановления и анализа геометрии используется дальнометрическое изображение внешней среды, поступающее от 3D сенсора, и информация об угловых и линейных положениях корпуса объекта управления, формируется геометрическая 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.

В модуле планирования траекторий движения при использовании модели проблемной среды, навигационных данных и маршрутного задания строится безопасная целенаправленная траектория движения. В качестве навигационных данных здесь используются курсовой угол и линейные координаты (широта и долгота) объекта управления на поверхности перемещения, поставляемые JPS-приемником. Маршрутное задание представляет собой координаты последовательности точек поверхности перемещений, которые должен пройти мобильный робот.

В настоящее время созданы действующие макеты дальнометрических СТЗ дальней и ближней зон обзора, а также кругового обзора.

В качестве измерителя расстояний для СТЗ дальней зоны обзора использован сканирующий в плоском секторе лазерный дальномер серии LMS (Laser Measurement System) фирмы SICK-AG Auto Ident. Принцип действия приборов серии LMS основан на измерении интервала времени между моментами посылки и приема после отражения от объектов импульсов лазерного излучения. Диапазон измеряемых дальностей равен 0...30 м, ошибка измерений — не более 5 см. Сканирование в плоском секторе 180° осуществляется с помощью вращающегося зеркала с шагом 1° . Прибор LMS выполняет 76 сканов с секунду при 180 измерений в каждом скане. Поскольку LMS обеспечивает сканирование в плоском секторе, то он является 2D сенсором. Для получения объемного дальнометрического изображения внешней среды был создан электропривод (сканатор), позволяющий качать прибор по углу возвышения в секторе 180° и, следовательно, получать телесный угол обзора равный половине сферы [4]. Для измерения угла возвышения используется датчик вал-код с разрешением 10 угл. мин. Модуль управления 3D сенсора имеет возможность программирования через внешний компьютер (ЭВМ верхнего уровня управления) различных законов сканирования по углу возвышения. Для экспериментальных исследований в реальных условиях 3D сенсор был закреплен на объекте управления (рис. 9) так, чтобы в зону обзора попадала лежащая впереди опорная поверхность (рис. 10).

От 3D сенсора в ЭВМ верхнего уровня управления поступают дальнометрические изображения в виде массива измеренных дальностей и соответствующих им углов сканирования. Для определения угловых и линейных положений корпуса танка использованы:

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



Рис. 9. Вид СТЗ дальней зоны обзора на объекте управления

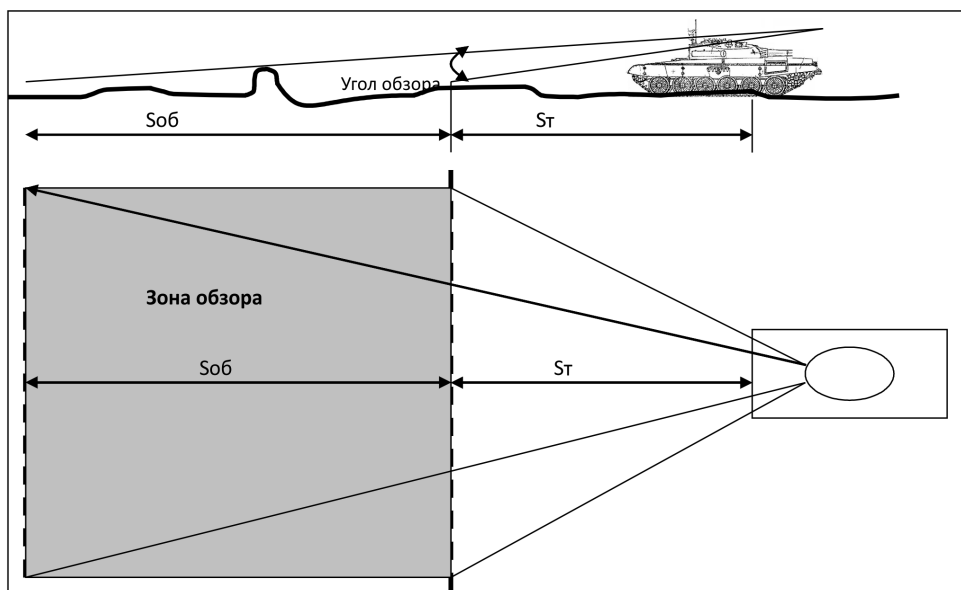


Рис. 10. Зона обзора СТЗ дальней зоны

Управление сканатором, опрос датчиков и обработка дальнометрической информации выполняются автоматически в процессе движения объекта управления.

Для экспериментальной проверки СТЗ дальнейшей зоны обзора и средств формирования геометрической модели внешней среды выполнены заезды для различных рабочих зон в диапазоне скоростей от 10 до 40 км/ч. При этом 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/ч. Для данного закона управления при горизонтальной опорной поверхности $S_t \approx 10$ м, $S_{об} \approx 10$ 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 ΔS , а на втором участке обзора при уменьшении угла возвышения – укорачивается на ΔS . На участках разгона-торможения объект управления также проходит не более ΔS , поэтому соседние зоны обзора взаимно пересекаются и, следовательно, геометрическая модель будет формироваться в процес-

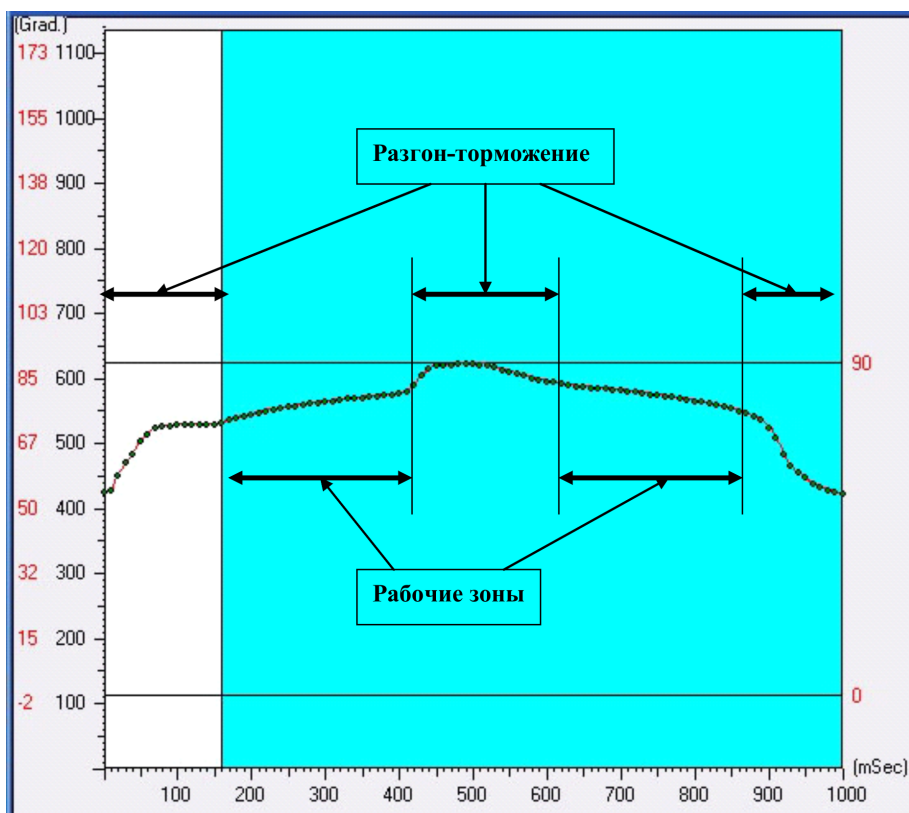
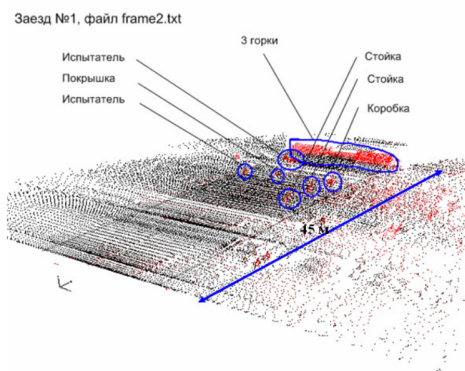


Рис. 11. Закон управления сканатором по углу возвышения



a



б

Рис. 12. Экспериментальные исследования СТЗ дальней зоны обзора:

a – трасса с препятствиями; *б* – геометрическая модель трассы

се движения без разрывов. При меньших скоростях движения (менее 40 км/ч) глубина обзора $S_{об}$ увеличивается за счет уменьшения длины тормозного пути S_T (см. рис. 10).

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

Аналогичным образом проведены экспериментальные исследования СТЗ кругового обзора (рис. 13). В качестве сканирующего лазерного дальномера кругового обзора был использован высокопроизво-



Рис. 13. Размещение СТЗ кругового обзора на объекте

дательный 32-лазерный сенсор кругового обзора HDL-32E LiDAR. Вертикальное поле зрения сенсора формируют 32 лазера, расположенных под наклоном от $+10^\circ$ до -30° . Горизонтальное поле зрения (360°) формируется вращением головки дальномера вокруг вертикальной продольной оси. Лазерный дальномер измеряет дальности со скоростью до 700 тыс. точек в секунду на дальностях до 100 м и с погрешностью ± 20 мм при частоте передачи данных 10 Гц.

На рис. 14 и 15 приведены соответственно внешняя среда и ее геометрическая модель, полученная с помощью СТЗ кругового обзора.

Для формирования модели близлежащей зоны использовался сканирующий лазерный дальномер ближней зоны, который состоит из



Рис. 14. Внешняя среда

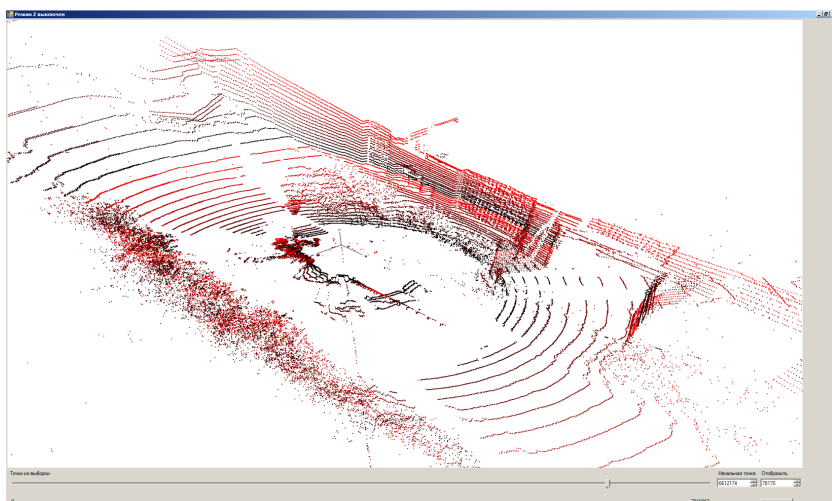


Рис. 15. Круговая геометрическая модель внешней среды

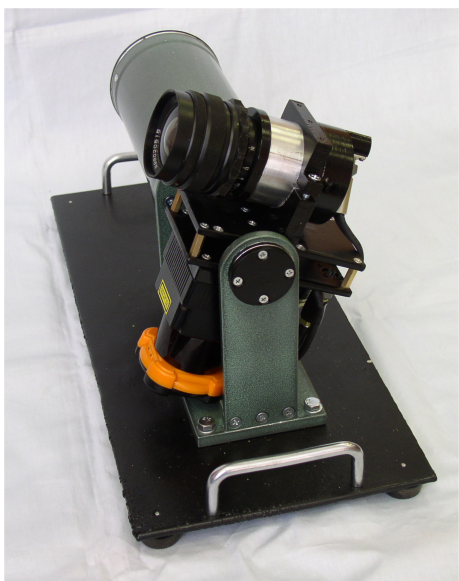


Рис. 16. Сканирующий лазерный дальномер ближней зоны

ней части — формальная модель внешней среды (выполнено распознавание препятствий и разрешенных для движения участков) и безопасная траектория движения.

Для задания отработки маршрутного задания подсистема автономного управления движением имеет в своем составе картографическую базу данных [2] о среде передвижения. Картографическая база данных содержит цифровую карту местности и сформированный на ее основе граф возможных путей (рис. 18).

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования позволили настроить разработанную аппаратно-приборную часть и отладить соответствующие алгоритмы и программы основных подсистем и модулей в составе реальных объектов управления в реальных условиях полигона, что является важным этапом в решении задач и проблем роботизации военной техники.

Полученные результаты находят 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 радиобмена 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

дальномера UTM-30LX, видеолинейки (или видеокамеры), вращающегося контактного устройства и привода, состоящего из моментного двигателя, датчика положения и системы управления (рис. 16).

Сканирующий дальномер UTM-30LX имеет сектор сканирования 270° , шаг сканирования $0,25^\circ$, диапазон измеряемой дальности $0,1 \dots 60$ м, Время одного скана 25 мс. Привод позволяет получать практически сферическую зону обзора.

Результат работы СТЗ ближней зоны обзора приведен на рис. 17, в верхней части которого приведено видеоизображение внешней среды и ее геометрическая модель, в ниж-

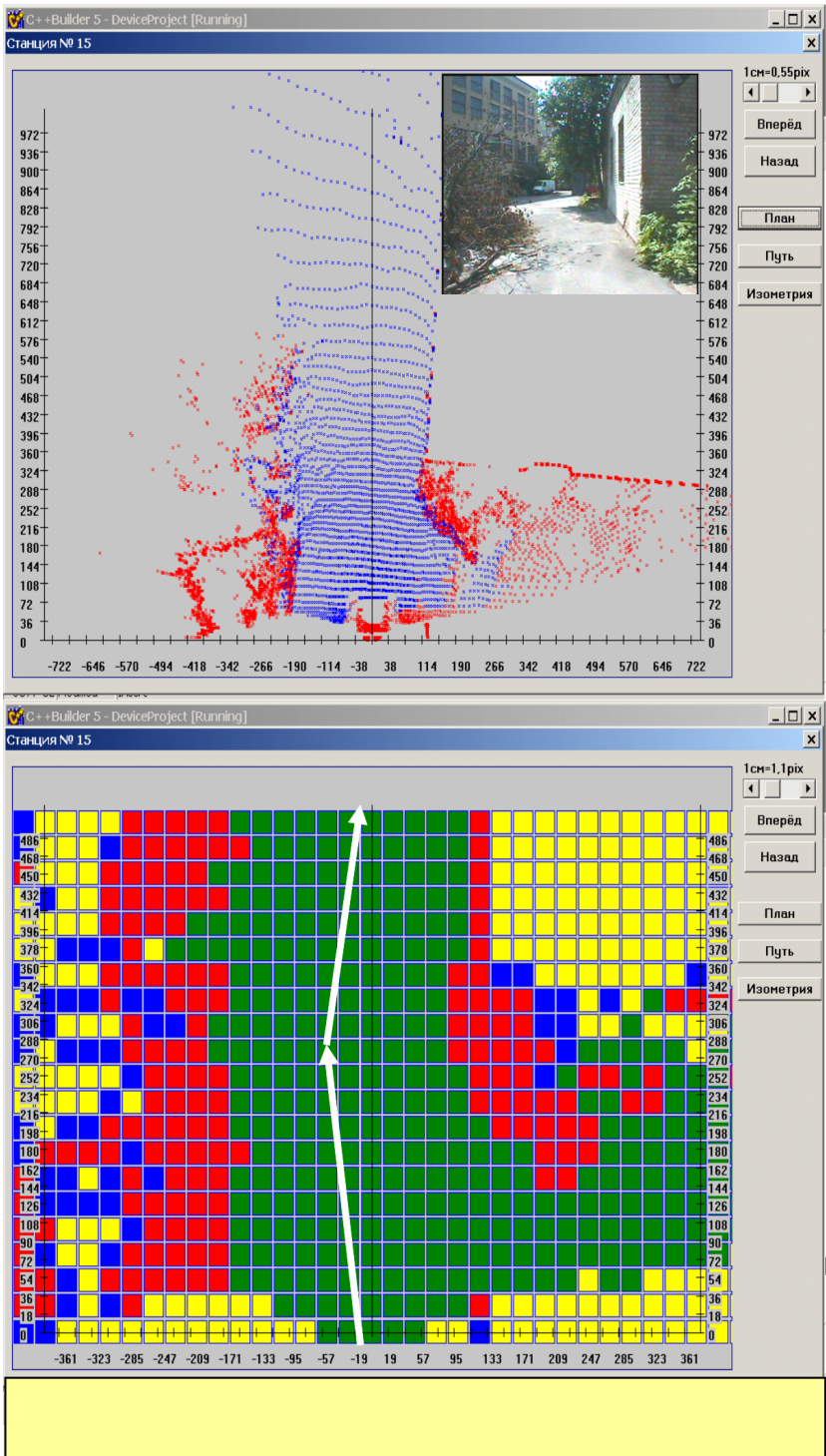
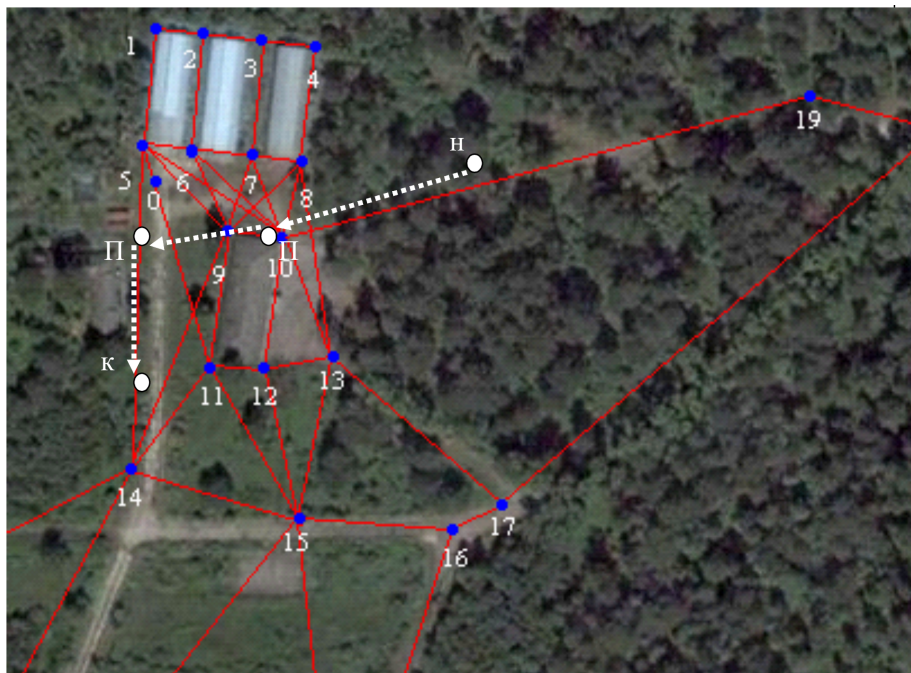


Рис. 17. Результат работы СТЗ ближней зоны обзора, подсистемы планирования траектории движения



Маршрутное задание:

Старт из (.)Н, двигаясь по асфальтовой дороге 19-8 достичь промежуточную (.) П1, двигаясь по площади достичь промежуточную (.) П2, двигаясь по грунтовой дороге 5-14 достичь конечную (.) К

Рис. 18. Картографическая база данных среды передвижения

объемная модель рабочей зоны, оперативно формируемая по данным бортовых систем объекта управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К у т у з о в А. Н., Л а п ш о в В. С., Н о с к о в В. П., Р у б ц о в И. В. Опыт разработки и создания автономного интеллектуального робототехнического комплекса на базе серийного танка Т-72. // Науч.-техн. сб. Оборонная техника. – 2000. – № 1–2. – С. 15–18.
2. Н о с к о в В. П., Р у б ц о в И. В. Опыт решения задачи автономного управления движением мобильных роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 12. – С. 21–24.
3. А п п а р а т н о-алгоритмические средства формирования модели проблемной среды в условиях пересеченной местности / Г.А. Буйолов, В.П. Носков и др. // Сб. научн. трудов. Управление движением и техническое зрение автономных транспортных роботов. 1989. – С. 61–69.
4. К у з и н Ю. Р., Н о с к о в А. В., Н о с к о в В. П. Разработка и исследование СТЗ для обеспечения автономного движения // Оборонная техника. – 2001. – С. 34–39.

Статья поступила в редакцию 23.03.2012