



Система управления мобильного робототехнического комплекса МРК-47БТ военного назначения

Николай Гамазов, Валентин Коровкин

В статье рассмотрена многоуровневая иерархическая структура системы управления мобильного робототехнического комплекса военного назначения. Верхний уровень управления – пост оператора – реализован в виде виртуального пульта на планшетном компьютере Getac CA-35 с сенсорным экраном. Функции интеллектуального контроллера выполняет программируемый контроллер ADAM-5510M. Нижний уровень управления включает в себя контроллеры частотных преобразователей 8200 Motec и распределённую систему на базе микроконтроллеров PIC.

НАЗНАЧЕНИЕ И СОСТАВ МРК-47БТ

Мобильный робототехнический комплекс МРК-47БТ (рис. 1) является инициативной разработкой Специального конструкторско-технологического бюро прикладной робототехники МГТУ им. Н.Э. Баумана (СКТБ ПР), представляет собой экспериментальный образец боевого мобильного робота (далее МР), управляемого с удалённого поста оператора и предназначенного для ведения огня по подвижным и неподвижным огненным точкам, различным объектам, зданиям и сооружениям с использованием стрелкового, гранатомётного и огнемётного вооружения, а также для установки дымовых завес.

В состав комплекса входят:

- гусеничное шасси с дизельным генератором АДП 6,5/3,2-Т400/230 ВЯ-С в качестве энергетической установки. Приводами бортов гусеничного обвода шасси являются два асинхронных двигателя 380 В мощностью 1,5 кВт каждый со встроенными частотными преобразователями 8200 Motec фирмы Lenze. Также в составе шасси имеются преобразователь напряжения 380–24 В и две батареи герметичных необслуживаемых аккумуляторов FIAMM FG21803, первая из которых обеспечивает функционирование МР при остановленном дизеле

(неподвижном шасси), а вторая используется для запуска дизельного генератора;

- оружейная турель, установленная на гусеничном шасси и состоящая из опорно-поворотного устройства (ОПУ) с углом поворота 270° в горизонтальной плоскости, а также подвижного плеча и подвижной платформы, обеспечивающих в вертикальной плоскости угол возвышения 85° (для стрельбы по воздушным целям, рис. 1а) и угол склонения 80° (для стрельбы по целям на дне оврага, рис. 1б);
- фара освещения;
- система управления бортом МР, включающая в себя программируемый контроллер ADAM-5510M с установленными модулями ADAM-5051S (16-канальный модуль дискретного ввода с гальванической изоляцией и светодиодной индикацией) и ADAM-5090 (модуль интерфейсов RS-232 на 4 порта), преобразователь интерфейсов RS-232 – RS-485 ADAM-4520I, модем радиоканала Sateline-3ASd, контроллеры частотных преобразователей Motec 8200, подсистему обработки датчиков положения оружейной турели на основе микроконтроллеров PIC 18F8722 и PIC 16F873A, подсистему управления оружейной турелью и навесным обо-



Рис. 1. Мобильный робототехнический комплекс МРК-47БТ военного назначения в положении плеча и платформы для стрельбы по воздушным целям (а) и по целям на дне оврага (б)

рудованием на основе микроконтроллеров PIC 18F8722 и PIC 18F2431;

- подвижный пост оператора, состоящий из пульта управления, выполненного на основе защищённого планшетного компьютера Getac CA-35 с сенсорным экраном 12,1", джойстика MS-A2 с блоком обработки на базе микроконтроллера PIC 18F8722, преобразователя интерфейсов RS-232 — RS-485 ADAM-4520I, модема радиоканала Satellline-3ASd, монитора телевизионной системы, блока питания;
- телевизионная система, в составе которой пять цветных телекамер: три поворотные в двух плоскостях — телекамера 1 (обзорная) с трансфокатором, телекамера 4 и телекамера 5; две неподвижные — телекамера 2 и телекамера 3 (совмещена с коллиматорным прицелом); телевизионные передатчик, приёмник, передающая и приёмная антенны. Передатчик и передающая антенна размещены на борту МР, приёмник и приёмная антенна смонтированы на переносной мачте, устанавливаемой вблизи поста оператора;
- вспомогательное оборудование, включающее в себя технологический пульт управления бортом МР с джойстиком Megatron ТУР 812 и блоком обработки на базе микроконтроллера PIC 18F8722, кабель связи длиной 100 м, совмещённый с телевизионным кабелем, силовой кабель 380 В длиной 100 м, заряд-

ное устройство для заряда батарей аккумуляторов борта и аккумулятора блока питания поста оператора.

Вооружение комплекса состоит из установленных на оружейной турели пулемета 6П41 «Печенег» калибра 7,62 мм с коллиматорным прицелом и боекомплектом на 100 патронов, четырёх гранатомётов РШГ-2 калибра 76 мм, или четырёх реактивных пехотных огнёмётов РПО «Шмель» калибра 93 мм, или любой комбинации РШГ-2 и РПО «Шмель», суммарно до четырёх штук. Непосредственно на корпусе гусеничного шасси установлены три устройства типа мортиры КРАГ для стрельбы дымовыми кассетными гранатами (ДКГ).

Скорость движения МР по ровной дороге — до 4 км/ч, запас хода (продолжительность работы дизельного генератора на одной заправке) — 3,2 часа.

Длительность работы на аккумуляторах при выключенном дизельном генераторе (шасси неподвижно) – 4 часа в режиме наблюдения (без стрельбы и работы оружейной турели), 2 часа в активном режиме (со стрельбой).

Дальность действия (расстояние между постом оператора и МР) – до 1 км на открытой местности. Масса МР – 600 кг.

Пост оператора – верхний уровень управления

Рассмотрим структурную схему системы управления МРК-47БТ (рис. 2). Воспользуемся терминологией, применяемой при анализе автоматизированных систем управления и контроля в теории SCADA-систем [1]. Пост оператора представляет собой мобильное автоматизированное рабочее место и предназначен для реализации функций верхнего уровня управления комплексом: 1) интерфейса человек—машина в виде виртуального пульта управления на планшетном компьютере Getac CA-35 с сенсорным экраном, 2) отображения телевизионного сигнала на мониторе телевизионной системы. Конструктивно пост оператора выполнен в виде пластикового футляра-кейса, в основании которого смонтированы планшетный компьютер, преобразователь ADAM-4520I и модем Satellline-3ASd. В откидной крышке кейса установлен монитор телевизионной системы, снаружи крышки в верхнем левом углу смонтирована антенна радиоканала. На верхнюю панель основания кейса выведен сенсорный экран планшетного компьютера, в левой части панели расположены разъёмы для подсоединения кабеля связи и силового кабеля для питания поста оператора, разъём телевизионной антенны, а также разъём для подсоединения джойстика. В правой части панели расположены ключ для включения

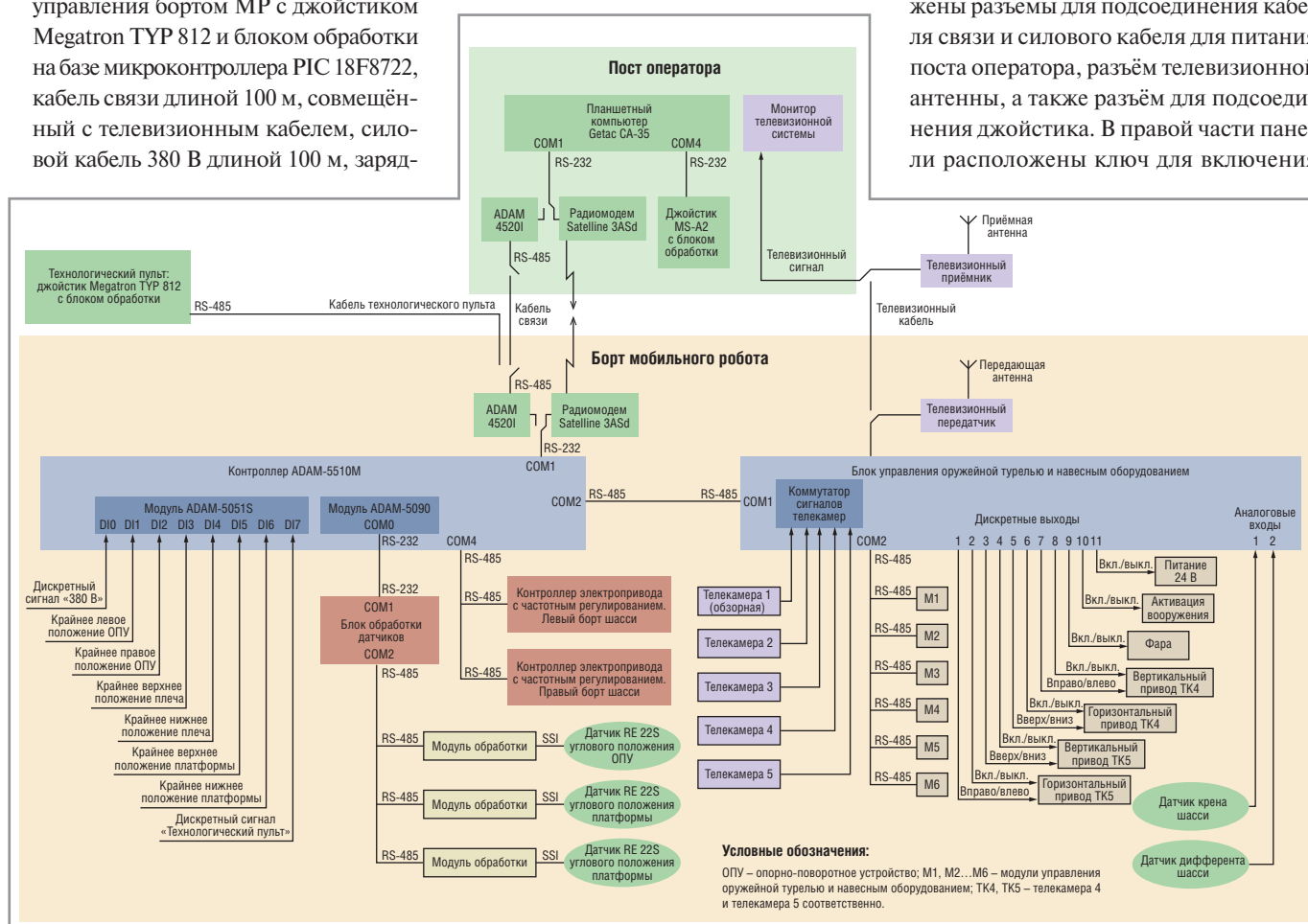


Рис. 2. Структурная схема системы управления МРК-47БТ

питания поста оператора, тумблер переключения режимов «радио—кабель», разъёмы для подсоединения компьютерной мыши и клавиатуры, USB-разъём (рис. 3).

Планшетный компьютер Getac CA-35 оснащён четырьмя COM-портами, из них один задействован для обработки сигналов сенсорного экрана, один занят под инфракрасный порт (в данном проекте не используется), на двух оставшихся — COM1 и COM4 — реализован интерфейс RS-232. К порту COM1 присоединены параллельно преобразователь интерфейсов RS-232 — RS-485 ADAM-4520I со стороны входа RS-232 и модем Sateline-3ASd, настроенный на режим RS-232. Этот порт используется для связи с системой управления бортом МР.

К порту COM4 присоединён джойстик, разработанный и изготовленный в СКТБ ПР. Джойстик представляет собой сборку собственно двухкоординатного потенциометрического джойстика MS-A2 фирмы NBB Components с интегрированной центральной кнопкой и блока обработки на базе микроконтроллера PIC 18F8722, смонтированных в едином корпусе (рис. 4).



Рис. 3. Пост оператора МРК-47БТ

Джойстик позволяет управлять либо движением гусеничного шасси, либо поворотами ОПУ, плеча или платформы. Выбор объекта управления осуществляется последовательным нажатием центральной кнопки джойстика либо посредством кнопок виртуального пульта управления.



Рис. 4. Джойстик для управления шасси и оружейной турелью МРК-47БТ

БОРТОВОЙ КОНТРОЛЛЕР ADAM-5510M

Функции интеллектуального контроллера, или второго уровня управления выполняет IBM PC совместимый программируемый контроллер ADAM-5510M. Этими функциями являются:

- приём команд, передаваемых верхним уровнем, их обработка и передача контроллерам нижнего уровня управления;
- сбор данных с контролеров нижнего уровня, а также с датчиков, присоединённых непосредственно к интеллектуальному контроллеру;
- обработка полученных данных, их представление для передачи верхнему уровню управления;
- контроль состояния подсистем борта МР;
- передача верхнему уровню по его запросу необходимой информации: данных, полученных от контроллеров нижнего уровня и присоединённых датчиков, состояния подсистем борта МР;
- синхронизация работы подсистем борта МР;
- обеспечение функционирования подсистем борта МР в условиях отсутствия обмена информацией с верхним уровнем управления, например при работе в режиме радиомолчания или при временной потере связи;
- работа в режиме управления подсистемами борта МР от технологического пульта.

Контроллер ADAM-5510M имеет 4 слота для установки модулей расширения, работает под управлением встроенной операционной системы ROM-DOS, оснащён четырьмя COM-портами:

- COM1 (RS-232);
- COM2 (RS-485);
- COM3 (RS-232) — порт программирования, используемый только для записи во флэш-память прикладного программного обеспечения (ПО) и для управления контроллером от внешнего хост-компьютера при отладке программ с помощью специальной утилиты;
- COM4 может быть настроен либо как RS-232, либо как RS-485 (в данном проекте).

Для хранения файлов прикладного ПО, в том числе исполняемых модулей, доступно 960 кбайт флэш-памяти. При включении питания контроллера автоматически запускается исполняемый модуль, имя которого прописано в файле AUTORUN.BAT, тем самым обеспечивается запуск требуемой прикладной программы.

К порту COM1 контроллера присоединены параллельно преобразователь интерфейсов RS-232 — RS-485 ADAM-

4520I со стороны входа RS-232 и модем Sateline-3ASd, настроенный на режим RS-232. Этот порт используется для связи с верхним уровнем управления, то есть компьютером Getac CA-35 поста оператора. Порт COM2 используется для связи с нижним уровнем управления — контроллерами электроприводов 8200 Motec с частотным регулированием фирмы Lenze. Порт COM4 (RS-485) используется для связи с блоком управления оружейной турелью и навесным оборудованием борта МР на базе микроконтроллера PIC 18F8722.

В двух слотах контроллера установлены модули расширения ADAM-5051S и ADAM-5090. Восемь каналов модуля дискретного ввода ADAM-5051S используются для обработки следующих дискретных сигналов, поступающих от нижнего уровня управления:

- «380 В» — сигнал устанавливается при наличии на борту МР рабочего напряжения 380 В, вне зависимости от источника напряжения (подсоединён внешний силовой кабель 380 В или запущен дизельный генератор);
- шесть сигналов, каждый из которых устанавливается при срабатывании соответствующего концевого датчика

крайнего положения ОПУ, плеча и платформы;

- «Технологический пульт» — сигнал устанавливается, если технологический пульт, входящий в состав вспомогательного оборудования комплекса, подключён к разъёму для кабеля связи на борту МР.

Из четырёх COM-портов интерфейсов RS-232 ADAM-5090 используется только порт COM0 для связи с блоком обработки датчиков углового положения ОПУ, плеча и платформы на базе микроконтроллера PIC 18F8722.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ КОНТРОЛЛЕРЫ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ

Фактически функции интеллектуальных контроллеров, но более низкого, третьего уровня управления выполняют блок управления оружейной турелью и навесным оборудованием и блок обработки датчиков углового положения ОПУ, плеча и платформы. Эти блоки разработаны и изготовлены в СКТБ ПР, в качестве базового программируемого чипа использован микроконтроллер PIC 18F8722. Верхним уровнем управления для этих блоков является контроллер ADAM-5510M.

Блок управления оружейной турелью и навесным оборудованием включает в себя порты COM1 и COM2 с интерфейсом RS-485, коммутатор сигналов телекамер, одиннадцать дискретных выходов, два аналоговых входа. Посредством порта COM1 блок связан с контроллером ADAM-5510M, от которого получает команды и запросы данных. Эти команды и запросы обрабатываются и транслируются на нижний уровень управления — локальным контроллерам уровня объекта или исполнительным механизмам. В зависимости от вида команды или запроса это могут быть, например:

- коммутация сигнала телекамеры с заданным номером;
- дискретные команды включения питания 24 В, активации вооружения, включения фары;
- дискретные команды управления положением телевизионных камер 4 и 5, передаваемые непосредственно на приводы телекамер 4 и 5;
- считывание данных с аналоговых входов, соединённых с датчиками крена и дифферента шасси;
- команды и запросы данных, передаваемые через порт COM2 модулям управления навесным оборудованием

M1, M2...M6, то есть локальным контроллерам уровня объекта.

Данные, полученные в результате запроса от локальных контроллеров уровня объекта и присоединённых датчиков — в данном случае аналоговых датчиков крена и дифферента шасси, передаются блоком управления через порт COM1 контроллеру ADAM-5510M для дальнейшей обработки на верхнем уровне управления.

Блок обработки датчиков включает в себя порт COM1 с интерфейсом RS-232 и порт COM2 с интерфейсом RS-485. Через порт COM1 блок обработки датчиков получает от контроллера ADAM-5510M запросы данных о показаниях датчиков углового положения ОПУ, плеча или платформы. Эти запросы обрабатываются и передаются через порт COM2 на нижний уровень модулям обработки датчиков — локальным контроллерам уровня объекта. Данные, полученные блоком обработки датчиков в результате запроса от модулей обработки датчиков, передаются через порт COM1 контроллеру ADAM-5510M для дальнейшей обработки на верхнем уровне управления.

ФУНКЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ УРОВНЯ ОБЪЕКТА

Самый нижний, четвертый уровень управления — уровень объекта — включает в себя датчики для получения информации о состоянии подсистем МР, исполнительные механизмы для реализации команд верхнего уровня и управляющих воздействий и локальные контроллеры уровня объекта. Функциями этих контроллеров являются:

- опрос датчиков состояния подсистем МР и обработка полученной с датчиков информации;
- обработка команд и запросов данных, приходящих с верхнего уровня;
- управление исполнительными механизмами в соответствии с командами, полученными с верхнего уровня;
- передача данных на верхний уровень в соответствии с запросами.

К локальным контроллерам уровня объекта относятся:

- контроллеры асинхронного электропривода с частотным преобразователем 8200 Motec фирмы Lenze правого и левого бортов гусеничного обвода шасси. В исполнении 8200 Motec контроллер и частотный преобразователь вместе с асинхронным электродвигателем представляют собой моноблок. Контроллер оснащён

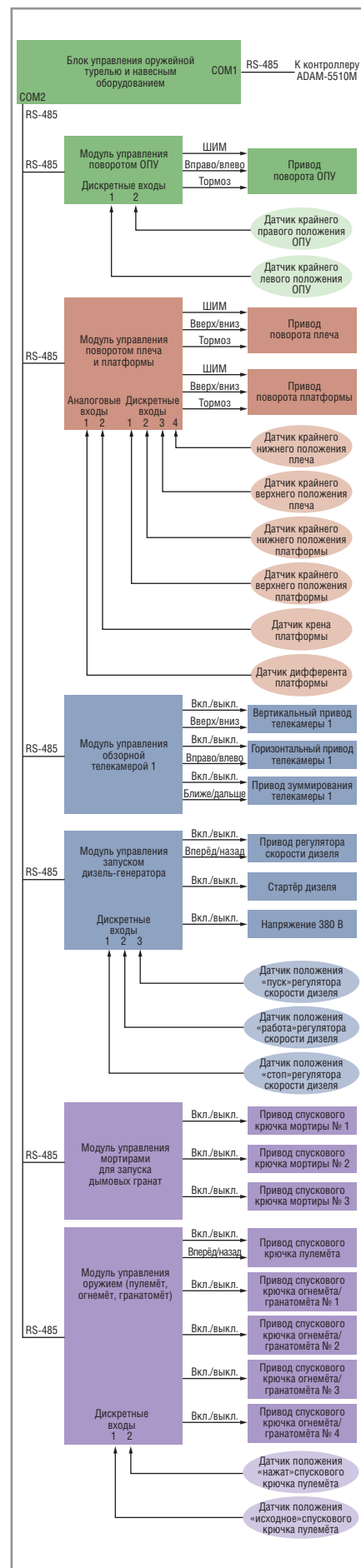


Рис. 5. Структурная схема подсистемы управления оружейной турелью и навесным оборудованием МР

встроенным COM-портом с интерфейсом RS-232, который может быть использован для программирования режимов работы частотного преобразователя и управления электроприводом от внешнего хост-компьютера с помощью специальной программы или от специального технологического пульта [2]. Также имеется возможность установки в контроллер дополнительных функциональных модулей PROFIBUS, Interbus, CAN, AS-интерфейса, Locom-B (RS-485) для реализации управления контроллером посредством соответствующего интерфейса [3]. В данном проекте в контроллерах правого и левого бортов применены функциональные модули Locom-B, что позволяет использовать для связи с верхним уровнем управления — контроллером ADAM-5510M — интерфейс RS-485. Прикладное ПО контроллера ADAM-5510M, предназначенное для взаимодействия с контроллерами электропривода Motec 8200, разработано в СКТБ ПР и реализует полный набор команд, необходимых для настройки электроприводов правого и левого бортов и управления движением шасси МР в режиме реального времени;

- модули обработки датчиков RE 22S углового положения ОПУ, плеча и платформы. Все три модуля однотипны, разработаны и изготовлены в СКТБ ПР, в качестве базового программируемого чипа использован микроконтроллер PIC 16F673. Каждый из модулей связан по интерфейсу RS-485 с верхним уровнем управления (блоком обработки датчиков) и по интерфейсу SSI (Synchronous Serial Interface — синхронный последовательный интерфейс) со своим датчиком углового положения. Общие сведения об интерфейсе SSI и принцип синхронной последовательной передачи данных изложены в [4]. В качестве примера рассмотрим работу модуля обработки датчика положения ОПУ. Для организации передачи данных от датчика RE 22S посредством интерфейса SSI необходимы две витые пары RS-422: одна для передачи данных и одна для передачи синхронизирующих импульсов [5]. От верхнего уровня — блока обработки датчиков — по интерфейсу RS-485 приходит адрес запрашиваемого датчика. Если этот адрес совпадает с прошитым в модуле обработки, в данном случае с адресом, соответствующим

датчику положения ОПУ, то модуль обработки по линии синхронизации посылает датчику тактовую последовательность из прямоугольных импульсов с частотой 400 кГц. Число посланных импульсов равно числу битов, которые должен передать датчик. В данном проекте применены датчики RE 22S с разрешением в 14 битов, поэтому число посланных импульсов должно быть равно 14. В ответ на каждый полученный импульс, точнее, на его положительный фронт, датчик отправляет в линию передачи данных один бит значения координаты углового положения, начиная со старшего бита. Из полученных таким образом битов модуль обработки формирует число — значение координаты углового положения ОПУ — и передает его по интерфейсу RS-485 на верхний уровень — в блок обработки датчиков. Аналогично работают модули обработки датчиков углового положения плеча и платформы;

- модули М1...М6 управления оружейной турелью и навесным оборудованием входят в подсистему управления оружейной турелью и навесным оборудованием МР, структурная схема которой приведена на рис. 5. Все они

разработаны и изготовлены в СКТБ ПР, в качестве базового программируемого чипа в каждом модуле использован микроконтроллер PIC 18F2431. Они связаны по интерфейсу RS-485 с верхним уровнем (блоком управления оружейной турелью и навесным оборудованием). Рассмотрим работу каждого из модулей.

Модуль управления поворотом ОПУ (М1) получает от верхнего уровня команду, содержащую значение скорости и направление поворота ОПУ (вправо или влево). Приводом поворота ОПУ является коллекторный двигатель постоянного тока со встроенным тормозом. По заданному значению скорости поворота модуль М1 рассчитывает параметры ШИМ (широтно-импульсной модуляции) питающего напряжения привода поворота, снимает дискретную команду включения тормоза, подаёт на вход двигателя ШИМ-напряжение и дискретную команду, задающую направление поворота ОПУ. Этот поворот продолжается вплоть до получения с верхнего уровня команды на прекращение поворота или до момента срабатывания датчика соответствующего крайнего положения ОПУ (правого или левого). Сигналы этих дат-

чиков приходят на дискретные входы модуля М1. При наступлении одного из событий модуль М1 подаёт нулевое значение питающего напряжения на вход двигателя и дискретную команду на включение тормоза.

Модуль управления поворотом плеча и поворотом платформы (М2) получает от верхнего уровня либо запрос на значения крена и дифферента платформы, либо команду на поворот плеча, либо команду на поворот платформы, которая содержит значение скорости поворота плеча (платформы) и направление поворота плеча (платформы) — вверх или вниз. В ответ на запрос крена и дифферента платформы происходит считывание значений этих параметров с аналоговых входов модуля М2 и передача их на верхний уровень. Приводом поворота плеча (платформы) является коллекторный двигатель постоянного тока со встроенным тормозом, аналогичный приводу ОПУ. Поэтому алгоритм управления поворотом плеча (платформы) вверх или вниз полностью аналогичен рассмотренному выше алгоритму управления поворотом ОПУ вправо или влево. Отметим, что применение приводов со встроенным тормозом позволяет

фиксировать положение ОПУ, плеча и платформы при стрельбе или движении МР по пересечённой местности.

Модуль управления телекамерой 1 (обзорной) М3 получает от верхнего уровня либо команду на поворот телекамеры в горизонтальной плоскости, либо команду на поворот телекамеры в вертикальной плоскости, либо команду на зуммирование (приближение или удаление изображения, выдаваемого телекамерой). Поскольку управление скоростью горизонтального или вертикального поворота, или зуммирования не предусмотрено, каждая из перечисленных дискретных команд задаёт только направление соответствующего поворота (вправо или влево, вверх или вниз), или знак зуммирования (приближение или удаление). В зависимости от полученной команды модуль М3 включает либо привод горизонтального поворота, либо привод вертикального поворота, либо привод зуммирования телекамеры. Заданный поворот телекамеры или зуммирование продолжают вплоть до получения с верхнего уровня команды на прекращение поворота (зуммирования), или до достижения соответствующего предельного положе-

ния — в этом случае электродвигатель привода поворота (зуммирования) отключается по перегрузке по току.

Модуль управления запуском дизель-генератора (М4) может получить от верхнего уровня одну из следующих команд:

- «Запустить дизель холодный»;
- «Запустить дизель прогретый»;
- «Остановить дизель»;
- «Включить напряжение 380 В»;
- «Выключить напряжение 380 В»;
- «Остановить дизель, выключить напряжение 380 В».

В качестве привода рычага регулятора скорости используется механизм автомобильного стеклоподъёмника с электродвигателем постоянного тока. При получении команд «Запустить дизель холодный» и «Запустить дизель прогретый» модуль М4 выполняет следующую последовательность действий:

- включает привод рычага регулятора скорости дизеля для перемещения рычага вперёд, проверяет состояние дискретного входа 3, на который приходит сигнал от датчика положения «пуск» рычага регулятора скорости;
- при срабатывании этого датчика (появлении сигнала на дискретном вхо-

де 3) выключает привод рычага, включает стартёр, устанавливает программный таймер на пять секунд;

- по истечении времени по таймеру выключает стартёр;
- если выполняется команда «Запустить дизель холодный», то таймер переустанавливается на три минуты. Если выполняется команда «Запустить дизель прогретый», то таймер переустанавливается на тридцать секунд;
- по истечении времени по таймеру включает привод рычага регулятора скорости дизеля для перемещения назад, проверяет состояние дискретного входа 2, на который приходит сигнал от датчика положения «работа» рычага регулятора скорости;
- при срабатывании этого датчика (появлении сигнала на дискретном входе 2) выключает привод рычага. Дизель запущен и приведён в рабочее состояние.

При получении команды «Остановить дизель» модуль М4 включает привод рычага для перемещения назад, проверяет состояние дискретного входа 1, на который приходит сигнал от датчика положения «стоп» рычага регулятора скорости. При срабатывании этого дат-

чика (появлении сигнала на дискретном входе 1) выключает привод рычага. Дизель остановлен. Методика запуска и останова дизеля соответствует [6].

При получении команды «Включить напряжение 380 В» модуль М4 включает трёхфазное реле 5П36.3ОТМА1-20-8, которое коммутирует напряжение 380 В с силовой цепью электроприводов 8200 Motec правого и левого бортов шасси МР. Соответственно при получении команды «Выключить напряжение 380 В» модуль М4 выключает это реле, тем самым снимая напряжение 380 В с электроприводов 8200 Motec.

При получении команды «Остановить дизель, выключить напряжение 380 В» модулем М4 параллельно выполняются команды «Остановить дизель» и «Выключить напряжение 380 В».

Отметим следующее. Взаимодействие с контроллерами электроприводов 8200 Motec правого и левого борта шасси МР, в том числе их начальная инициализация, осуществляется контроллером ADAM-5510М. Команда «Включить напряжение 380 В», собственно включающая контроллеры электроприводов 8200 Motec, подаётся контроллером ADAM-5510М блоку управления оружейной ту-

релью и навесным оборудованием и затем передается модулю М4. Очевидно, эта команда должна быть подана только после того, как рабочее напряжение 380 В появилось на борту МР в результате подсоединения внешнего силового кабеля 380 В или запуска дизельного генератора. Признаком этого является сигнал «380 В», подаваемый на вход модуля ADAM-5051S (рис. 2). Механизм образования этого сигнала таков. Преобразователь напряжения 380—24 В, входящий в состав шасси МР и обеспечивающий наличие рабочего напряжения 24 В для всех потребителей на борту МР, включён в цепь 380 В параллельно реле, коммутирующему напряжение 380 В с силовой цепью электроприводов 8200 Motec. Поэтому сигнал «380 В», снимаемый с выхода преобразователя «24 В», устанавливается на соответствующем входе модуля ADAM-5051S одновременно с появлением рабочего напряжения 380 В на борту МР. Соответственно, этот сигнал отсутствует, если внешний силовой кабель 380 В отсоединён и дизель остановлен.

Модуль управления мортирами для запуска дымовых гранат (М5) получает от верхнего уровня команду на стрельбу одной из трёх мортир. В соответствии с полученной командой модуль М5 включает привод спускового крючка мортиры с заданным номером и устанавливает программный таймер на пять секунд. По истечении времени по таймеру модуль М5 выключает привод спускового крючка мортиры. Стрельба залпом для мортир не предусмотрена.

Модуль управления оружием (пулемёт, гранатомёт/огнемёт) М6 может получить от верхнего уровня одну из команд:

- стрельба из пулемёта очередью в пять выстрелов;
- стрельба из пулемёта очередью в десять выстрелов;
- стрельба из пулемёта, начать очередь;
- стрельба из пулемёта, закончить очередь;
- стрельба одним из гранатомётов/огнемётов;
- стрельба залпом из гранатомётов/огнемётов в любом сочетании из четырёх единиц.

Сочетание команд «стрельба из пулемёта, начать очередь» и «стрельба из пулемёта, закончить очередь» позволяет вести огонь из пулемёта очередями произвольной длины.

Механизмы спусковых крючков гранатомёта и огнемёта унифицированы, поэтому возможна стрельба в любом сочетании единиц, в зависимости от того,

какое оружие установлено на МР, например, один гранатомёт/три огнемёта, два гранатомёта/два огнемёта и т.д.

При получении команд на стрельбу очередью в пять или в десять выстрелов модуль М6 выполняет следующую последовательность действий:

- включает привод спускового крючка пулемёта для перемещения вперёд, проверяет состояние дискретного входа 2, на который приходит сигнал от датчика положения «нажат» спускового крючка пулемёта;
- при срабатывании этого датчика (появлении сигнала на дискретном входе 2) выключает привод спускового крючка пулемёта, устанавливает программный таймер на четыре секунды, если очередь в пять выстрелов, и на восемь секунд, если очередь в десять выстрелов;
- по истечении времени по таймеру включает привод спускового крючка пулемёта для перемещения назад, проверяет состояние дискретного входа 1, на который приходит сигнал от датчика положения «исходное» спускового крючка пулемёта;
- при срабатывании этого датчика (появлении сигнала на дискретном входе 1) выключает привод спускового крючка пулемёта.

При получении команды «стрельба из пулемёта, начать очередь» модуль М6 выполняет следующую последовательность действий:

- включает привод спускового крючка пулемёта для перемещения вперёд, проверяет состояние дискретного входа 2, на который приходит сигнал от датчика положения «нажат» спускового крючка пулемёта;
- при срабатывании этого датчика (появлении сигнала на дискретном входе 2) выключает привод спускового крючка пулемёта.

При получении команды «стрельба из пулемёта, закончить очередь» модуль М6 выполняет следующую последовательность действий:

- включает привод спускового крючка пулемёта для перемещения назад, проверяет состояние дискретного входа 1, на который приходит сигнал от датчика положения «исходное» спускового крючка пулемёта;
- при срабатывании этого датчика (появлении сигнала на дискретном входе 1) выключает привод спускового крючка пулемёта.

При получении команды на стрельбу одним из гранатомётов/огнемётов мо-

дуль М6 включает привод спускового крючка заданного гранатомёта/огнемёта, устанавливает программный таймер на пять секунд. По истечении времени по таймеру модуль М6 выключает привод спускового крючка.

При получении команды на стрельбу залпом из гранатомётов/огнемётов модуль М6 включает приводы спусковых крючков гранатомётов/огнемётов, участвующих в залпе, устанавливает программный таймер на пять секунд. По истечении времени по таймеру модуль М6 выключает приводы спусковых крючков.

ОРГАНИЗАЦИЯ СВЯЗИ МЕЖДУ ПОСТОМ ОПЕРАТОРА И БОРТОМ МР

Основным видом связи между постом оператора и бортом МР является связь по радиоканалу посредством пары радиомодемов Satellline-3ASd и передача телевизионного сигнала в эфир. Возможна также связь по подключаемому кабелю связи и передача телевизионного сигнала по телевизионному кабелю, совмещённому с кабелем связи. Этот вид связи может быть использован при работе в условиях радиопомех, при необходимости соблюдения режима радиомолчания, или для технологических целей. Для перехода от связи по радио к связи по кабелю на посту оператора имеется тумблер переключения режимов «радио—кабель». В положении «кабель» этого тумблера питание 24 В поступает к преобразователю интерфейсов RS-232 — RS 485 ADAM-4520I и не поступает к модему Satellline-3ASd (присоединены параллельно к порту COM1 планшетного компьютера Getac CA-35 поста оператора, рис. 2). И наоборот, в положении тумблера «радио» питание 24 В поступает к модему и не поступает к преобразователю интерфейсов. Разъём кабеля связи на посту оператора соединён с выходом RS-485 преобразователя интерфейсов. Аналогично на борту мобильного робота при подключении кабеля связи к борту благодаря специальной перемычке в разъёме кабеля питание 24 В поступает к преобразователю ADAM-4520I, установленному на борту, и не поступает к бортовому радиомодему. Если же кабель связи не подключён к борту, то запитан бортовой радиомодем и не запитан бортовой преобразователь интерфейсов. Таким образом, если кабель связи не подключён и тумблер переключения режимов на посту опера-

тора установлен в положение «радио», то связь между постом оператора и бортом МР осуществляется по радиоканалу по интерфейсу RS-232. При подключении кабеля связи к борту МР и к посту оператора в положении «кабель» тумблера переключения режимов связи осуществляется по кабелю по интерфейсу RS-485.

ВИРТУАЛЬНЫЙ ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ Getac CA-35

Рассмотрим более подробно виртуальный пульт управления, реализованный на планшетном компьютере Getac CA-35 с сенсорным экраном. Фактически такой пульт представляет собой набор графических окон, оснащённых изображениями активных и пассивных элементов управления с соответствующими поясняющими надписями. При запуске прикладной управляющей программы на экране возникает базовое окно — виртуальная панель управления. При нажатии оператором на виртуальную кнопку — область сенсорного экрана с изображением активного элемента-кнопки — управляющая программа формирует команду, соответствующую этой кнопке, и передаёт эту команду по назначению — на нижний уровень управления. Для быстрого изменения значений параметров используются специальные активные графические элементы — слайдеры, или движки, которые в сочетании с виртуальными кнопками могут заменить традиционный джойстик. Виртуальные пассивные элементы управления — изображения индикаторов, указателей, контрольных ламп, надписи, информирующие оператора, — отображают информацию, приходящую от устройств нижнего уровня. Помимо базового окна предусмотрены дополнительные окна со своими виртуальными активными и пассивными элементами, предназначенные для настроек параметров.

Прикладное ПО поста оператора МРК-47БТ для планшетного компьютера Getac CA-35 с сенсорным экраном разработано в СКТБ ПР для операционной системы реального времени QNX 4.25 с графическим пакетом Photon 1.14 на языке Watcom C 10.6. На рис. 6 показано базовое окно — виртуальная панель управления комплексом МРК-47БТ. Эта панель появляется на экране автоматически после включения питания планшетного компьютера и загрузки операционной системы. Все

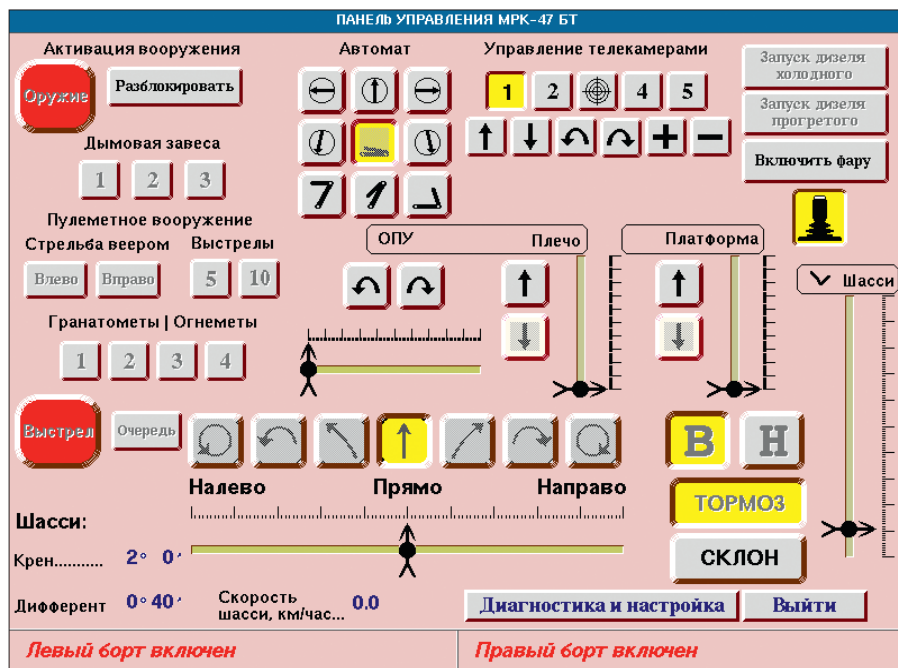


Рис. 6. Вид панели управления после активации джойстика

виртуальные кнопки и слайдеры панели сенсорные. Активные, или доступные кнопки подсвечены более ярко, чем неактивные и недоступные, нажатые кнопки имеют жёлтый цвет.

В левом верхнем углу панели находится группа кнопок активации вооружения и выбора оружия для выстрела. Для того чтобы эти кнопки стали доступными, необходимо нажать кнопку «Разблокировать», станет доступна кнопка «Оружие», после нажатия на которую станут доступны кнопки выбора оружия. Двухступенчатая процедура активации вооружения реализована в целях обеспечения безопасности обращения с оружием.

Для стрельбы одиночной дымовой гранатой надо нажать одну из кнопок «Дымовая завеса», после этого станет доступна кнопка «Выстрел», после нажатия которой произойдёт запуск выбранной дымовой гранаты. Аналогично выполняется одиночная стрельба из гранатомётов/огнемётов. Для стрельбы залпом из гранатомётов/огнемётов необходимо нажать любые две, три или все четыре кнопки «Гранатомёты/Огнемёты» и кнопку «Выстрел», после чего произойдёт одновременный выстрел из всех выбранных гранатомётов/огнемётов.

Следует отметить, что после того как выстрел выполнен, кнопки, которые задавали оружие для выстрела, остаются нажатыми, но становятся недоступными, тем самым информируя оператора, какое оружие и сколько единиц было использовано.

Для стрельбы из пулемёта необходимо выбрать вид очереди: короткая, пять или десять выстрелов, или произвольной длины, нажав соответствующую кнопку. Можно также задать стрельбу веером — сочетание очереди из пулемёта с поворотом оружейной турели вправо или влево. Далее, если была выбрана короткая очередь, необходимо нажать на короткое время и отпустить кнопку «Выстрел». Для выполнения очереди произвольной длины (нажата кнопка «Очередь») кнопку «Выстрел» необходимо нажать и удерживать вплоть до окончания очереди.

Выстрел можно выполнить только из одного вида оружия, поэтому если выбран один вид оружия, например, пулемёт, кнопки выбора других видов становятся недоступными. Для отмены выбора надо повторно нажать кнопку выбора.

После выполнения выстрела из любого вида оружия, за исключением пулемёта, кнопка «Выстрел» становится недоступной.

Для снятия активации вооружения необходимо повторно нажать кнопку «Оружие». После этого станут недоступными кнопка «Оружие» и все кнопки выбора оружия, а кнопка «Разблокировать» станет доступной.

Группа кнопок «Автомат» позволяет в автоматическом режиме одним нажатием соответствующей кнопки выставить в стандартные положения элементы оружейной турели — ОПУ, плечо и платформу (см. пиктограммы на кнопках группы «Автомат», рис. 6). Для ОПУ

это следующие положения: крайнее левое и крайнее правое (до срабатывания соответствующих концевых датчиков), влево и вправо на девяносто градусов от продольной оси шасси, вдоль продольной оси шасси (походное положение ОПУ). Для плеча и платформы это следующие положения: для стрельбы из окопа (плечо в крайнем верхнем, платформа горизонтальна), зенит для стрельбы по воздушным целям (плечо в крайнем верхнем, платформа в крайнем нижнем, рис. 1а), положение для стрельбы по целям на дне оврага (плечо в крайнем нижнем, платформа в крайнем верхнем, рис. 1б), походное. Отметим, что на рис. 6 кнопка походного положения плеча и платформы нажата и недоступна. Это означает, что плечо и платформа уже находятся в походном положении. То есть кнопки группы «Автомат» одновременно являются индикаторами стандартных положений ОПУ, плеча и платформы.

Группы кнопок и слайдеров «ОПУ», «Плечо», «Платформа» (рис. 6) предназначены для управления в ручном режиме поворотом отдельно ОПУ, плеча и платформы. Сенсорные слайдеры предназначены для задания скорости поворота. При нажатии на кнопку выбора направления поворота (вправо/влево для ОПУ, вверх/вниз для плеча и платформы) происходит поворот соответствующего устройства с заданной скоростью. При отпускании кнопки поворот прекращается. Если скорость поворота предварительно не выбрана посредством слайдера, то при нажатии на кнопку выбора направления поворота его скорость устанавливается по умолчанию равной 0,3 от максимальной скорости поворота. На рис. 6 кнопки поворота вниз для плеча и платформы недоступны, так как плечо и платформа уже находятся в походном, то есть крайнем нижнем положении. Таким образом, группы кнопок «ОПУ», «Плечо», «Платформа» одновременно являются индикаторами крайних положений соответственно ОПУ плеча и платформы.

Группа кнопок «Управление телекамерами» позволяет нажатием кнопки с номером телекамеры вывести на телевизионный монитор изображение с выбранной телекамеры. При этом кнопки управления поворотом телекамеры в вертикальной и горизонтальной плоскостях и кнопки управления зуммированием становятся доступными или недоступными, в зависимости от доступ-

ности этих операций для выбранной телекамеры. Так, на панели управления, приведённой на рис. 6, активирована телекамера 1 (обзорная), для которой повороты и зуммирование доступны, поэтому и соответствующие кнопки доступны. При выборе телекамеры 2 или телекамеры 3 (кнопка с изображением прицела) все кнопки управления станут недоступными, а при выборе камер 4 и 5 недоступными будут кнопки управления зуммированием.

Кнопки «Запуск дизеля холодного» и «Запуск дизеля прогретого» позволяют завести дизель соответственно в режиме холодного и горячего запуска. После запуска дизеля надпись на обеих кнопках меняется на «Останов дизеля», на свободный участок панели (под группой кнопок «Управление телекамерами») выводится надпись «Прогрев дизеля, сек.» и обратный отсчёт времени прогрева в секундах. После прогрева дизеля эта надпись исчезает. Для останова дизеля достаточно нажать на любую из кнопок с надписью «Останов дизеля». После останова дизеля на кнопки возвращаются первоначальные надписи. Отметим, что на панели управления, приведённой на рис. 6, кнопки запуска дизеля заблокированы, что соответствует питанию борта МР от внешнего силового кабеля 380 В, в этом случае запуск дизеля должен быть запрещён.

Кнопка «Включить фару» позволяет включить фару освещения на борту МР. После включения фары надпись на кнопке меняется на «Выключить фару». Для выключения фары освещения достаточно повторно нажать кнопку, фара выключится, на кнопку вернётся первоначальная надпись.

Группа кнопок выбора режима поворота шасси МР включает в себя следующие кнопки:

- прямо (в состоянии «нажата» на панели управления, изображённой на рис. 6);
- поворот налево/направо с подтормаживанием внутренней гусеницы;
- бортовой поворот налево/направо с полной остановкой внутренней гусеницы поворота;
- разворот на месте налево/направо при разнонаправленном движении гусениц с одинаковой по величине скоростью.

Нажатие любой из кнопок автоматически переводит в состояние «не нажата» все остальные кнопки. Расположенный под этой группой кнопок слайдер

позволяет задавать промежуточные значения рассогласования скоростей гусениц в повороте налево/направо.

Группа кнопок по управлению началом движения и остановкой шасси включает в себя следующие кнопки:

- кнопка «В» задаёт разрешение на движение вперёд;
- кнопка «Н» задаёт разрешение на движение назад;
- кнопка «Тормоз» при нажатии останавливает движение, при отжатии позволяет начать движение;
- кнопка «Склон» включает дополнительный электрический тормоз приводов 8200 Motec, позволяющий удерживать шасси МР на склоне.

Расположенный справа от этой группы кнопок слайдер позволяет изменять скорость при движении шасси МР.

Для начала движения шасси необходимо выполнить следующие действия:

- выбрать режим поворота шасси (прямо, поворот, бортовой поворот, разворот), нажав соответствующую кнопку выбора режимов;
- нажать кнопку «В» или «Н», при этом слайдер изменения скорости автоматически займёт положение, соответствующее скорости трогания с места;
- отжать кнопку «Тормоз» или сдвинуть вперёд слайдер изменения скорости. Шасси тронется с места в указанном направлении, выполняя заданный режим движения.

Рассмотренные группы кнопок и слайдеров виртуального пульта позволяют управлять функционированием МР, в том числе движением шасси, без подключения джойстика. Если джойстик подключён к планшетному компьютеру, то кнопка с изображением джойстика, расположенная под кнопкой «Включить фару», доступна и при нажатии активирует управление от джойстика. На рис. 6 показан вид панели управления после активации джойстика. Выделенные рамками области «ОПУ Плечо», «Платформа», «Шасси» играют роль виртуальных кнопок, позволяющих нажатием на соответствующую область выбрать объект управления от джойстика. Выбор также может быть осуществлён последовательным нажатием центральной кнопки джойстика. На панели, показанной на рис. 6, объектом управления от джойстика является шасси, поэтому кнопки выбора режима поворота, кнопки управления началом движения и остановкой шасси (кроме кнопки «Склон»), а также соответствующие слайдеры недоступны.

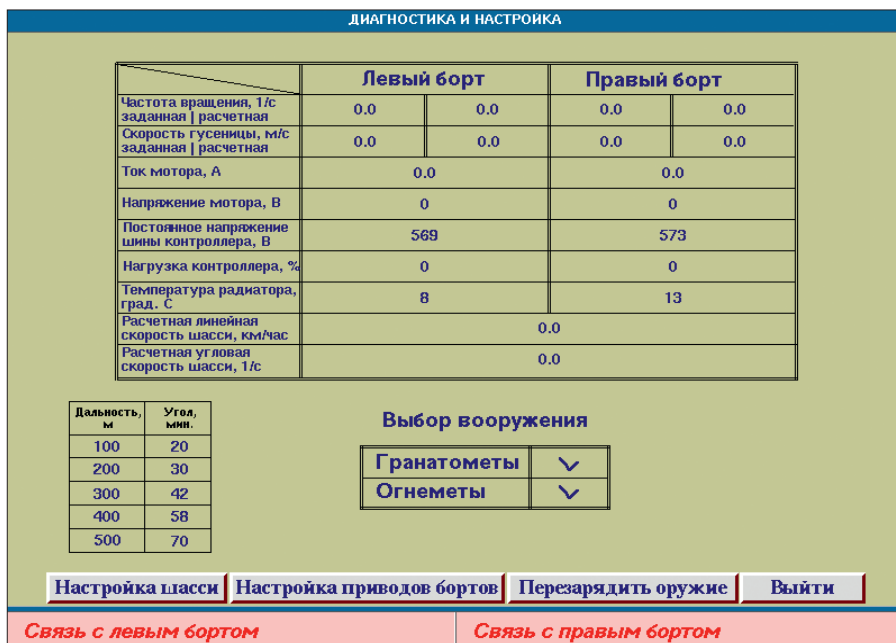


Рис. 7. Вид окна «Диагностика и настройка»

Кнопка «Диагностика и настройка» вызывает окно «Диагностика и настройка» (рис. 7). Это окно позволяет задать конфигурацию вооружения гранатомётами/огнемётами, перезарядить оружие (вернуть в исходное состояние кнопки, которые задавали оружие для выстрела, после того как выстрел произведён), а также вызвать дополнительные окна для настройки параметров шасси и приводов левого и правого бортов.

Нижняя часть панели управления отведена для диагностических сообщений, которые выводятся в автоматическом режиме. Всего может быть выведено двадцать одно диагностическое сообщение. Из них тринадцать сообщений парных, относящихся к левому и правому борту шасси, и девять общих сообщений, относящихся к пульту управления, всему шасси или дизельному генератору, например, «Сенсорный экран активен!», «Для инициализации шасси необходимо запустить дизель или подать 380 В!», «Дизель запущен! Прогрев дизеля займёт три минуты» и др. Аварийные сообщения выводятся мигающими, например, «Отсутствует связь с бортовой системой управления!». Сообщение на рис. 6 выводится, если нажата одна из кнопок — «В» или «Н».

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МРК-47БТ

Во-первых, это многоуровневая система. Верхним уровнем управления является пост оператора. Функции интеллектуального контроллера, или второго уровня выполняет программируемый контроллер ADAM-5510M. Функции

интеллектуальных контроллеров более низкого, третьего уровня возложены на блок управления оружием турелью и навесным оборудованием и блок обработки датчиков. В обоих блоках применены микроконтроллеры PIC 18F8722. Наконец, самый нижний, четвёртый уровень управления образуют датчики, исполнительные механизмы и локальные контроллеры уровня объекта — встроенные контроллеры частотных преобразователей 8200 Motec, модули обработки датчиков RE 22S, модули управления оружием турелью и навесным оборудованием. Во всех модулях применены микроконтроллеры PIC. Фактически локальные контроллеры уровня объекта образуют распределённую систему управления.

Во-вторых, это иерархическая система, в которой отсутствуют горизонтальные связи. Взаимоотношения уровней управления строятся по принципу master-slave, где ведущим является верхний уровень, а ведомым — связанный с ним нижний уровень. В соответствии с этим принципом контроллер нижнего уровня выполняет команды и отвечает на запросы только своего, связанного с ним контроллера верхнего уровня. При этом у ведущего может быть несколько ведомых, то есть контроллер верхнего уровня отдаёт команды и выставляет запросы нескольким подчинённым и связанным с ним контроллерам. В свою очередь ведущий может быть ведомым для ведущего более высокого уровня. Следует отметить, что такая структура системы управления определяется, с одной стороны, свойствами интерфей-

са RS-485, использованного для образования связей между уровнями, с другой стороны, свойствами оборудования, входящего в состав МР.

В-третьих, на посту оператора для реализации интерфейса человек—машина применён виртуальный пульт управления на планшетном компьютере Getac CA-35 с сенсорным экраном. Посредством виртуального пульта выполняется управление всеми устройствами МР, а также настройка параметров шасси и приводов гусеничного обвода. Это позволило отказаться от традиционного для мобильной робототехники пульта с механическими тумблерами и кнопками. В качестве опции для управления шасси и оружейной турелью предусмотрено использование специального джойстика, подключаемого к COM-порту планшетного компьютера Getac CA-35 по интерфейсу RS-232.

МРК-47БТ — первый для СКТБ ПР экспериментальный образец мобильного робота с дизельной энергоустановкой и полностью виртуальным пультом управления — принимал участие в опытных стрельбах на полигоне Серпуховского военного института РВСН и неоднократно на полигоне ЦНИИ-ТОЧМАШ, показав результаты стрельбы из пулемёта на уровне лучших снайперов, и вызвал повышенный интерес у специалистов и представителей заинтересованных ведомств. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. SCADA-системы: взгляд изнутри. Е.Б. Андреев, Н.А. Кузнецов, О.В. Синенко. — М.: РТСОфт, 2004.
2. Инструкция по эксплуатации 8200 Motec Lenze [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://rusautomation.ru/d/288371/d/8200motec-1.pdf>.
3. Каталог 8200 Motec Lenze [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://rusautomation.ru/d/288371/d/8200_motec_startec_catalog_lenze_en-1.pdf.
4. В. Жданкин. Абсолютные датчики углового положения с интерфейсом SSI // Современные технологии автоматизации. — 2004. — № 1.
5. RE22 series rotary encoders : Data sheet RE22D_01, Issue 1 [Электронный ресурс] // Renishaw. — 13th Jan. 2009. — Режим доступа: <http://resources.renishaw.com/en/download/data-sheet-re22-series-rotary-encoders--49270>.
6. Дизельные двигатели воздушного охлаждения YANMAR, серия L-A: инструкция по эксплуатации. — М.: ТД «Вепрь», 2002.

E-mail: nick_gamazov@mail.ru