

УДК 623.4.01

**В.И. Комченков, В.Ф. Петров, С.Б. Симонов, А.И. Терентьев****МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ БЕЗЭКИПАЖНЫХ  
ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ**

*Рассматривается подход к построению роботизированных дистанционно-управляемых машин на базе существующей гусеничной техники. Предложенная методика создания роботизированных безэкипажных объектов основана на дооснащении образцов навесным комплектом специализированной аппаратуры. Представленная обобщенная структурная схема системы безэкипажного управления включает в себя весь перечень функциональных решений, начиная с элементов исполнительного уровня и заканчивая системой технического зрения. Большое внимание в статье уделено проблеме обеспечения информационного взаимодействия в роботизированном комплексе. Для решения этой проблемы разработано программное обеспечение, обеспечивающее асинхронный обмен сообщениями в распределенной вычислительной системе. Апробация предложенной методики проведена на примере разработки роботизированного комплекса медицинской службы.*

*Система дистанционного управления; роботизация; безэкипажный объект; роботизированное средство медицинской службы.*

**V.I. Komchenkov, V.F. Petrov, S.B. Simonov, A.I. Terentev****DEVELOPMENT METHOD OF ROBOTIC UNMANNED  
GROUND-BASED ASSETS**

*Way of development of robotic telecontrolled vehicles on full-track base is considered in the article. Proposed method of robotic unmanned assets involves additional equipping with special-purpose hardware set. Presented general block diagram of unmanned control system includes full list of functional solutions, starting with execution level elements and closing with machine vision system. The emphasis of the article is on information interaction support problem. In response to this problem special software was designed, that provides asynchronous data exchange in distributed computing system. Approbation of proposed method is performed in case of robotic medical service system*

*Telecontrol system; robotization, unmanned asset; robotic vehicle of medical service.*

Роботизация образца на базе гусеничного шасси заключается в оснащении его комплектом специализированной аппаратуры, которая образует систему безэкипажного управления (СБУ) и обеспечивает дистанционное управление, а также автономное решение отдельных задач образцом [1]. При этом экипаж размещается в пункте управления, который может располагаться на удалении нескольких километров от объекта. Полученный таким образом роботизированный комплекс имеет целый ряд преимуществ по сравнению со специализированными мобильными роботами:

- ◆ роботизированный объект может управляться как в экипажном режиме (штатный режим управления), так и в безэкипажных режимах дистанционного или автономного управления;
- ◆ роботизированный образец внешне мало отличим от экипажного нероботизированного образца, что расширяет тактические возможности его применения;
- ◆ достигается сокращение времени и стоимости создания нового робота, так как за основу можно взять готовый образец и использовать унифицированную аппаратуру дистанционного управления для ряда базовых шасси;
- ◆ появляется возможность перевода ранее изготовленных экипажных образцов в класс безэкипажных машин различного назначения;

- ◆ выполнение операций в автоматическом режиме повышает эффективность решения ряда задач.

Роботизация позволяет не только переводить существующие объекты в класс дистанционно-управляемых безэкипажных машин, но и создавать новые специализированные роботизированные комплексы на их основе. Примером такого технического решения является роботизированный комплекс медицинской службы (РТК МС), предназначенный для решения гуманитарных задач.

Задача создания безэкипажных средств для эвакуации раненных является актуальной и исследуется ведущими научно-техническими странами, например США (рис. 1,а). Путём роботизации многоцелевого тягача легкобронированного (МТ-ЛБ) в короткие сроки был создан экспериментальный образец РТК МС (рис. 2,б) и проведены его натурные испытания.



а



б

*Рис. 1. Образцы роботизированных комплексов для медицинских служб:  
а – комплекс эвакуации, разработанный в США; б – роботизированный комплекс  
медицинской службы на базе МТ-ЛБ*

Полученный опыт [2] создания роботизированных объектов позволил разработать методику построения таких систем. Основные этапы построения роботизированного объекта рассмотрим на примере РТК МС.

*На первом этапе* определяется круг решаемых объектом задач в безэкипажном режиме управления. Проводится декомпозиция каждой задачи на элементарные управляющие воздействия (операции), такие как «нажатие педали тормоза», «замыкание цепи» и др.

В РТК МС общими задачами являются: управление движением, погрузка раненого в транспортный отсек, оказание первой медицинской помощи. Для погрузки раненого в РТК МС используется специально установленное оборудование: внешний манипулятор с захватно-погрузочным устройством (ЗПУ). Перечень операций для решения задачи погрузки раненого включает в себя:

- ◆ открытие и закрытие двери отсека;
- ◆ выдвижение и задвижение платформы с носилками;
- ◆ операции управления звеньями манипулятора;
- ◆ поворот ЗПУ влево и вправо, раскрытие и закрытие ЗПУ.

Автоматизированное выполнение этих операций достигается управлением исполнительными механизмами – электромагнитными клапанами, гидро- и электроприводами; а также формированием и коммутацией управляющих сигналов в электрических цепях штатного оборудования базового шасси.

Далее уточняются параметры объекта, которые контролируются оператором или системой управления в ходе выполнения задач.

Для рассмотренной выше задачи погрузки раненого, контролируемые параметры являются:

- ◆ состояние электромагнитных клапанов в гидравлической системе манипулятора, двери отсека, выдвижной платформы и ЗПУ;
- ◆ сигналы о крайних положениях ЗПУ, двери отсека выдвижной платформы;
- ◆ угловые положения звеньев внешнего манипулятора.

Проведенный анализ позволяет определить номенклатуру управляющих сигналов, состав исполнительных механизмов и датчиков, перечень измеряемых сигналов для формирования данных телеметрии.

Затем формулируются требования к системе технического зрения, достаточные для обеспечения дистанционного управления по телевизионному сигналу. Уточняется количество видеокамер и других источников технического зрения, их размещение на объекте, требования к техническим характеристикам, количество одновременно обрабатываемых видеосигналов. Проведенный анализ позволяет определить характеристики видеопотоков, сформулировать требования к системе видеообработки и пропускной способности радиоканалов связи.

Система технического зрения РТК МС включает в себя 11 видеокамер. Четыре видеокамеры предназначены для обзора местности при движении вперед и маневрирования задним ходом. Еще две видеокамеры устанавливаются на опорно-поворотной платформе и обеспечивают обзор местности и объекта. Две видеокамеры закреплены на стреле внешнего манипулятора и ЗПУ. Остальные видеокамеры расположены в отсеке и позволяют визуально контролировать процесс открытия двери, выдвижение платформы, и выполнения действий по оказанию первой медицинской помощи.

На *втором этапе* проводится разработка структурной схемы системы безэкипажного управления объектом. На основе анализа, проведенного на первом этапе, определяется структурная схема и состав аппаратуры СБУ, требования к отдельным её блокам, их расположение в объекте и на пункте управления. В структурной схеме системы безэкипажного управления объектом можно выделить следующие компоненты:

- ◆ исполнительные механизмы;
- ◆ аппаратура управления исполнительного уровня – отвечает за программное исполнение элементарных операций, а также за контроль состояния отдельных подсистем;
- ◆ аппаратура, обеспечивающая автономное решение отдельных задач (интеллектуальный уровень);
- ◆ аппаратура, обеспечивающая информационное взаимодействие между отдельными вычислительными блоками и связь между пунктом управления и объектом (коммуникационный уровень);
- ◆ аппаратура системы технического зрения и навигации (информационный уровень);
- ◆ аппаратура, обеспечивающая человеко-машинный интерфейс управления безэкипажным объектом;
- ◆ аппаратура энергообеспечения.

Разработанная для РТК МС структурная схема СБУ приведена на рис. 2. В частном случае, некоторые вычислители могут решать задачи аппаратуры различных уровней, например, блок обработки информации в РТК МС решает одновременно задачи информационного и коммуникационного уровня.

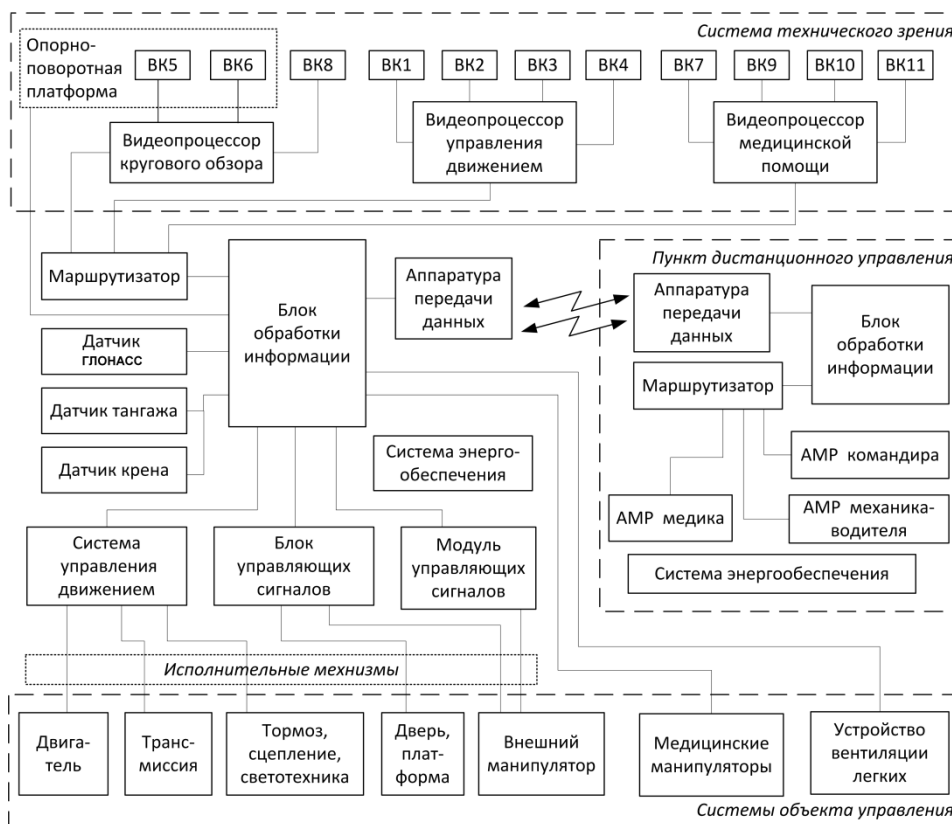


Рис. 2. Обобщенная структурная схема СБУ для РТК МС

На *третьем этапе* в соответствии со структурной схемой разрабатываются специализированные вычислительные блоки, информационное, алгоритмическое и программное обеспечение. На этом этапе проводится декомпозиция алгоритмических задач на отдельные программные модули (подзадачи), которые могут выполняться параллельно на вычислителях; уточняется состав и характеристики информационных потоков между алгоритмическими задачами и их расположение на вычислителях.

Программно-алгоритмическое обеспечение СБУ рассредоточено в многоадресной распределенной вычислительной сети с динамически изменяемыми характеристиками радиоканалов связи, поэтому общесистемной задачей для его построения является организация информационного обмена в структуре роботизированного комплекса. В процессе информационного обмена необходимо обеспечить адаптивную передачу информации в соответствии с техническими особенностями аппаратуры передачи данных, текущей пропускной способностью основного и резервного (при наличии) радиоканалов связи и приоритетами информационных потоков.

Для решения коммуникационной задачи в роботизированных объектах разработан программный комплекс ARTEX (Asynchronous Real-Time Exchange), который обеспечивает асинхронный обмен сообщениями произвольного размера между приложениями, распределенными в вычислительной системе. Комплекс обеспечивает информационное взаимодействие в соответствии с моделью распределенных систем на основе событий (distributed event-based computing) [3]. Маршруты передачи информационных потоков для передачи по основному и резервным каналам связи определяются и задаются на этапе проектирования объекта. Также

задаются условия для передачи того или иного информационного потока через основной или резервный канал связи. Программный комплекс обеспечивает обработку информационных потоков в соответствии с их приоритетами; маршрутизацию на основе динамической оценки пропускной способности радиоканалов связи, оценку времени передачи каждого сообщения.

На заключительном этапе выполняются комплексные испытания роботизированного комплекса и оценка эффективности решения задач. В ходе испытаний проверяются функциональные возможности роботизированного комплекса и выполнения технических требований, заданных в техническом задании.

Для определения коэффициента эффективности решения отдельной задачи роботизированным объектом определяются оценки  $I_1, \dots, I_M$  её решения ( $M \geq 1$ ). Большее значение оценки  $I$  должно соответствовать лучшему результату выполнения задачи.

Для задач, решение которых возможно в экипажном режиме управления, оценивается коэффициент эффективности их выполнения в безэкипажном режиме:

$$K_{\text{ЭФ}} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \frac{I_j^{\text{ДУ}}}{I_j^{\text{ЭУ}}},$$

где  $I^{\text{ДУ}}$  – оценка решения задачи, полученная при безэкипажном режиме управления объектом;

$I^{\text{ЭУ}}$  – оценка решения задачи, полученная при экипажном управлении объектом.

На эффективность выполнения задач, решаемых роботизированным комплексом в режиме дистанционного управления, весомое влияние оказывают вносимые в контур управления задержки обработки информации, а именно:

- ◆ время передачи команд управления от автоматизированного рабочего места оператора до формирования сигнала на исполнительном уровне СБУ;
- ◆ время регистрации, передачи на пункт управления и отображения видеокadra и сигналов телеметрии.

Поэтому для систем дистанционного управления объектами проводятся также соответствующие временные оценки обработки информации.

Эвакуация раненного в РТК МС осуществляется в режиме дистанционного управления. Экспериментальные исследования показали, что время обработки видеосигнала составляет в среднем 180 мс, время передачи команд управления составляет в среднем 60 мс. Вносимая в контур управления задержка (около 240 мс) позволяет эффективно решать задачи управления движением, поиска раненных, погрузки раненного и оказания первой медицинской помощи в дистанционном режиме управления.

Считается, что для сохранения жизни раненого необходимо начать оказывать ему первую помощь в течение первых 60 минут (правило «золотого часа»). Во время испытаний РТК МС получена экспериментальная оценка времени погрузки раненого в транспортный отсек, где ему дистанционного оказывается первая медицинская помощь, для наиболее тяжелого сценария, когда военнослужащий полностью обездвижен или находится без сознания. Время проведения всех погрузочных операций (от момента расположения безэкипажной машины вблизи раненого до момента начала оказания первой медицинской помощи) составляет 15÷20 минут, что является удовлетворительным результатом. На поиск и обнаружение раненого должно быть затрачено не более 30 минут. В дальнейшем эффективность работы РТК МС может быть увеличена за счет уменьшения времени погрузки раненого, которое может быть сокращено до 5÷10 минут за счет автоматического выполнения операций перемещения внешнего манипулятора и захвата носилок.

Предложенная методика создания роботизированных безэкипажных объектов раскрывает общий подход к построению роботизированных комплексов на основе существующих объектов. В процессе создания системы безэкипажного управления решаются сложные научно-технические задачи с учётом назначения роботизированного объекта и предъявляемых к нему требований. Методика была успешно апробирована при создании экспериментальных образцов дистанционно-управляемого многоцелевого тягача легкобронированного и роботизированного комплекса медицинской службы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бархоткин В.А., Петров В.Ф., Комченков В.И., Рябов А.В.* Алгоритмическая модель функционирования системы дистанционного управления подвижными роботами // Мехатроника и Робототехника. – СПб., 2010. – С. 124-125.
2. *Петров В.Ф., Терентьев А.И., Блохин Ю.В., Демьянов В.В.* Программно-аппаратный комплекс управления автономным движением мобильного робота // Известия Тульского государственного университета, Технические науки. Проблемы специального машиностроения. – С. 143-148.
3. *Muhl G., Fiege L., Pietzuch P.* Distributed Event-Based Systems. Springer-Verlag GmbH, 2006.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Е.И. Минаков.

**Комченков Владимир Иванович** – Управление перспективных межвидовых исследований и специальных проектов; e-mail: pvf@olvs.miee.ru; г. Москва, К-119160; тел.: 84997208984; главный инженер 2 отдела.

**Петров Владимир Федорович** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МИЭТ». Научно-исследовательский институт вычислительных средств и систем управления; e-mail: pvf@olvs.miee.ru; 124498, Москва, Зеленоград, проезд 4806, 5; тел.: 84997208984; к.т.н.; заместитель директора.

**Симонов Сергей Борисович** – e-mail: sb.simonov@gmail.com; тел.: 84997208717; к.т.н.; ведущий инженер-программист.

**Терентьев Алексей Игоревич** – e-mail: terentev@olvs.miee.ru; кафедра вычислительной техники; к.т.н.; доцент.

**Komchenkov Vladimir Ivanovich** – Management of Perspective Interspecific Researches and Special Projects; e-mail: pvf@olvs.miee.ru; Moscow, K-119160; phone: +74997208984; chief engineer 2 departments.

**Petrov Vladimir Fedorovich** – National Research University of Electronic Technology. Research Institute of Computing means and Control Systems; e-mail: pvf@olvs.miee.ru; bld. 5, pas. 4806, Zelenograd, Moscow, 124498, Russia; phone: +74997208984; cand. of eng. sc.; deputy director.

**Simonov Sergei Borisovich** – e-mail: sb.simonov@gmail.com; phone: +74997208717; cand. of eng. sc.; leading software engineer.

**Terentev Alexey Igorevich** – e-mail: terentev@olvs.miee.ru; cand. of eng. sc.; associate professor.