

В.Ф. ПЕТРОВ, А.И. ТЕРЕНТЬЕВ, С.Б. СИМОНОВ, Д.Н. КОРОЛЬКОВ, В.И.  
КОМЧЕНКОВ, А.В. АРХИПКИН

## ЗАДАЧИ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

---

*Петров В.Ф., Терентьев А.И., Симонов С.Б., Корольков Д.Н., Комченков В.И., Архипкин А.В. Задачи группового управления роботами в робототехническом комплексе пожаротушения.*

**Аннотация.** Для решения задач группового управления РТК на различных уровнях необходима разработка аппаратуры передачи данных, к которой предъявляются повышенные требования. Рассмотрены проблемы выбора методов и алгоритмов реализации помехоустойчивых каналов связи для робототехнических комплексов специального и военного назначения тяжелого класса. Обосновано, что аппаратура передачи данных для робототехнических комплексов должна быть специализированной, строиться на основе эффективных сигнально-кодовых конструкций, использовать различные методы адаптации канала радиосвязи к изменяющимся условиям эксплуатации (помеховая обстановка, условия распространения). Рассмотрены особенности и варианты построения аппаратуры передачи данных для группового управления роботами, показаны преимущества и недостатки схем временного и частотного уплотнения каналов (абонентов).

**Ключевые слова:** групповое управление РТК, уровни управления, аппаратура передачи данных, помехоустойчивость, адаптивная модуляция, адаптивная мощность..

*Petrov V.F., Terentev A.I., Simonov S.B., Korolkov D.N., Komchenkov V.I., Arkhipkin A.V. Problems of Group Control of Robots in the Robotic Complex of Fire Extinguishing.*

**Abstract.** Development of the data-communication equipment with high demands imposed is necessary for solving the problems of unmanned robots group control on various levels. In this paper methods and algorithms for noise-immunity communication channel implementation are described. Substantiated that communication equipments for these channels have to be special-purpose and they have to use effective signal-code constructions which can adopt to changing environments. Features and options for multiple unmanned ground vehicles (UGV) control communications are described, advantages and disadvantages of time division multiple access and frequency division multiple access are considered.

**Keywords:** Communication equipment; noise-immunity; adoptive modulation and coding; adoptive power mode.

---

**1. Введение.** Одним из путей создания робототехнических комплексов (РТК) специального назначения является модернизация существующих экипажных образцов военной техники [1-4]. Именно таким образом создается РТК на базе специальной пожарной машины (СПМ). РТК СПМ состоит из пункта дистанционного управления (ПДУ) и двух дистанционной управляемых СПМ (ДУ СПМ). Для каждой ДУ СПМ разработан комплект специализированной аппаратуры, который обеспечивает дистанционное управление [5].

Управление каждой ДУ СПМ планирует оператор. Однако ДУ СПМ1 и ДУ СПМ2 могут выполнять часть функций автономно: например, движение по маршруту [6, 7].

Следует отметить, что по мере возрастания возможностей автономного функционирования объекта объем передаваемой видеoinформации между роботами и ПДУ будет сокращаться [8, 9]. Это позволит включить в единую сеть «точка-многоточка» большее количество роботов при той же пропускной способности сети [10]. Решение поставленных задач группой СПМ повысит эффективность применения РТК СПМ.

**2. Уровни взаимодействия между роботами.** Взаимодействие между роботами в группе может быть представлено в виде ранжированного ряда с возрастанием сложности задачи.

*Уровень 0.* Взаимодействие осуществляется между операторами, управляющими роботами. Централизованное управление осуществляет командир комплекса. При таком уровне сложности требования к взаимодействию между роботами не предъявляются. Данный уровень легко реализуется на практике, однако не представляет интереса с точки зрения автономного группового функционирования РТК.

*Уровень 1.* Данный уровень подразумевает разрешение конфликтов при автономном управлении. РТК способны генерировать предупреждения операторам при дистанционном управлении.

В качестве примеров задач этого уровня для РТК СПМ следует рассмотреть следующие:

- уступить дорогу роботу, который выполняет более приоритетную задачу;
- согласование движения при пересечении траекторий РТК;
- запрос помощи одного РТК при технических неполадках другого, например, возгорании (реализация требует расширенного информационного поля датчиков) [11];
- использование одной СПМ в качестве ретранслятора для другой СПМ, потерявшей связь с ПДУ;
- аварийная буксировка вышедшего из строя РТК.

При возрастании автономности РТК список будет дополняться новыми задачами. В качестве технических аспектов реализации этого уровня группового управления следует отметить, что РТК должны обмениваться своими координатами и положением в пространстве (особенно актуально для крупногабаритных комплексов). Обмен информацией для этого может быть организован через центральную точку (ПДУ) по структуре «точка-многоточка».

Однако для наземных РТК, работающих на пересеченной местности, всегда существуют зоны радиотени, в которых связь с ПДУ может быть нарушена. Поэтому одним из надежных решений задачи обмена информацией является использование между роботами средств связи, построенных по принципу mesh сети в зоне непосредственного соприкосновения РТК.

Решение обозначенных на этом уровне задач может выполняться РТК автономно, однако наличие развитой информационной сети позволяет оператору на ПДУ контролировать происходящее и при необходимости вносить коррективы в действия роботов.

*Уровень 2.* Совместное решение задач группой однотипных роботов. На этом уровне взаимодействие РТК осуществляется путем копирования действий друг друга. Например, РТК могут выполнять следующие задачи:

- движение в колонне (здесь ведущий робот следит за тем, чтобы ведомый не отстал, а ведомый выполняет задачу движения за впереди идущим);

- обеспечения ретрансляции для связи с ПДУ (каждый РТК выполняет роль ретранслятора и является узлом mesh сети);

- определение целей для пожаротушения и выдача целеуказаний, полученных в результате работы системы технического зрения группы роботов;

- сбор и обмен информацией об обнаруженных препятствиях при движении в точку назначения.

*Уровень 3.* Полностью автономное решение поставленной задачи группе РТК по принципу целеуказания и критерия решения задачи. С точки зрения группового управления это наиболее перспективный уровень.

Следует отметить, что расширение комплекса специализированными роботами, которые решают вспомогательные функциональные задачи, позволяет повысить эффективность функционирования группы РТК. Так, например, использование робота ретранслятора радиосигнала на базе квадрокоптера позволит расширить область функционирования РТК СПМ. А применение робота разведчика для поиска источников возгорания на базе квадрокоптера, позволит получить еще один информационный канал о новых возгораниях.

Одним из ключевых моментов в групповом управлении является наличие развитой информационной сети, обеспечивающей быстрый и качественный обмен информацией.

**3. Требования к аппаратуре передачи данных.** К аппаратуре передачи данных (АПД) для робототехнических комплексов военного назначения (РТК ВН) предъявляются повышенные требования по помехоустойчивости, скрытности, надежности связи, электромагнитной совместимости (ЭМС) и имитостойкости (устойчивости к структурным помехам).

Как правило, специфика применения РТК ВН, в особенности тяжелого класса, диктует следующие требования к аппаратуре передачи данных:

- высокие (десятки Мбит/сек) скорости передачи информации в прямом канале;

- асимметрия прямого и обратного канала по скорости передачи информации;

- минимальные (не более 100 мкс) задержки в канале (работа в режиме реального времени);

- возможность работы в сложной электромагнитной обстановке, при наличии естественных и преднамеренных помех (помехозащищенность), в условиях многолучевого распространения сигналов;

- гибкость и адаптивность канала связи по скорости передачи информации, спектральной эффективности и выходной мощности; наличие режимов адаптации по излучаемой мощности, пропускной способности и частоте излучения в зависимости от помеховой обстановки и дальности управления;

- возможность обеспечивать максимально-скрытную радиосвязь (разведзащищенность);

- поддержка режимов «ретрансляция» и «точка-многоточка» для обеспечения группового управления;

- устойчивая работа в условиях пересеченной местности при отсутствии прямой видимости;

- возможность переключения системы в рамках частотных диапазонов;

- другие требования, специфичные для РТК ВН конкретного типа и назначения.

Перечисленные требования в большей или меньшей степени характерны для всех РТК ВН тяжелого класса. Одновременное выполнение указанных требований проблематично, а нахождение разумного компромисса между ними и практическая реализация указанных требований является актуальной научно-технической задачей.

Даже поверхностный анализ перечисленных требований к АПД для РТК ВН показывает, что практическая реализация такой

аппаратуры невозможна на базе открытых стандартов связи (Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX, DVB-T и др.), использующих открытые протоколы. Серьезными препятствиями к использованию открытых стандартов связи, являются:

- низкая информационная безопасность канала связи (криптостойкость);

- низкая имитостойкость (устойчивость к имитационной помехе, имеющей одинаковую с полезным сигналом структуру, что затрудняет ее обнаружение);

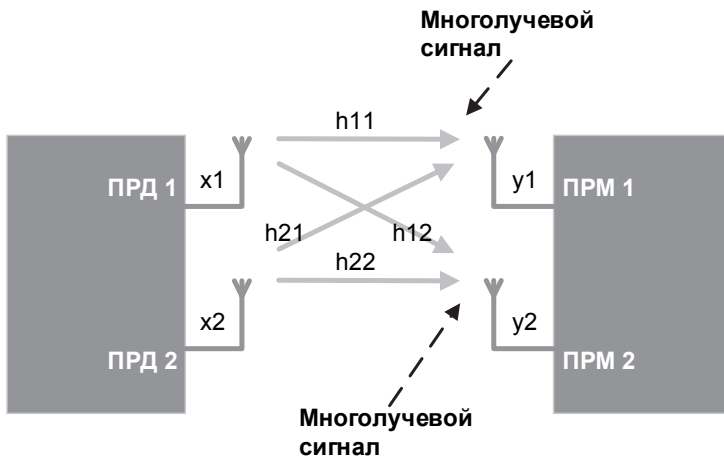
- отсутствие скрытных и помехозащищенных режимов работы;

- использование высоких (выше 2 ГГц) диапазонов рабочих частот, не предназначенных для работы на пересеченной местности, в особенности при небольших высотах подвеса антенн на роботе и пункте дистанционного управления (ПДУ).

**4. Перспективные методы построения АПД.** Все вышеперечисленное говорит о том, что АПД для РТК ВН должна быть специализированной. Практический опыт разработки и создания АПД для РТК ВН и анализ тенденций развития мировой индустрии в этой области [12] показывает, что при создании АПД для РТК ВН перспективными являются:

1. Метод ортогонального частотного уплотнения (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM) в сочетании со спектрально-эффективными сигнально-кодowymi конструкциями (QAM-16, QAM-64), эффективные алгоритмы помехоустойчивого кодирования (каскадные коды, блочные и сверточные турбокоды с быстрыми алгоритмами декодирования, обеспечивающими минимальные (не более 100 мкс) задержки в канале).

2. Метод разнесенного приема и передачи сигналов (Multiple In Multiple Out – MIMO) для увеличения помехоустойчивости и надежности работы на пересеченной местности [13]. В среде с многолучевым распространением передаваемый сигнал, прежде чем достигнет приемника, рассеивается и отражается от различных объектов, таких как здания, деревья, горы. При наличии как минимум двух приемников с разнесенными антеннами появляется возможность выбора лучших из принятых прямых и переотраженных сигналов, а также их комбинирования по различным алгоритмам, что увеличивает помехоустойчивость канала связи на величину от 3 до 10 дБ. При наличии двух и более передающих антенн эффективность данного метода увеличивается. На рисунке 1 приведена схема работы аппаратуры MIMO 2x2 [13]. При разработке модемов MIMO-OFDM чрезвычайно актуальной является задача оценки параметров многолучевых каналов связи [14].



$h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$ ,  $h_{22}$  – комплексные коэффициенты передачи лучей  
 $x_1$ ,  $x_2$  – передаваемые сигналы  
 $y_1$ ,  $y_2$  – принимаемые сигналы

Рис. 1. Иллюстрация работы метода ММО 2x2

3. Многодиапазонные и широкодиапазонные радиочастотные тракты для работы в сложных географических [15] и электромагнитных условиях, а также в условиях действия объектовых средств РЭБ. Широкие диапазоны частот АПД позволяют обеспечить ЭМС в месте применения РТК, а также организовать несколько независимых сетей РТК. Применение аппаратуры в диапазонах частот, требующих прямой видимости (выше 2-3 ГГц), в случаях, где это возможно (связь в колонне, работа на близких дистанциях и на открытой местности), позволяет разгрузить низкие диапазоны частот (до 1 ГГц), традиционно загруженные средствами связи оперативного-тактического звена.

4. Режимы «ретрансляция» и «точка-многоточка» для поддержки задачи группового управления роботами. При работе роботов в группе использование одного из роботов в качестве ретранслятора для другого увеличивает надежность связи, дальность управления и живучесть комплекса. Для реализации режимов «точка-многоточка», как правило, используются методы временного и частотного уплотнения каналов (абонентов), а также комбинации указанных методов. На рисунке 2 приведен пример временного

уплотнения каналов (Time Division Multiple Access – TDMA) в системе с OFDM-модуляцией, предложенный в [16]. В данном решении используется структура информационных фреймов на базе OFDM-сигналов, интегрированная во временные слоты TDMA.

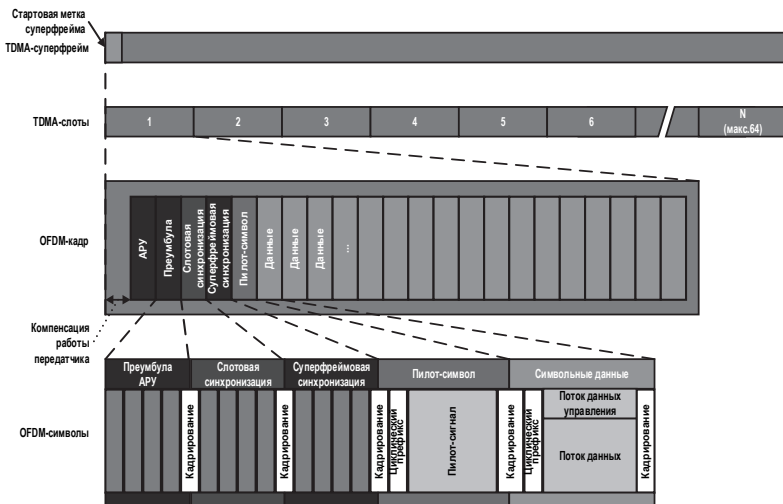


Рис. 2. Пример временного уплотнения каналов (абонентов) системе с OFDM-модуляцией

Основной принцип TDMA заключается в том, что имеющийся ресурс разделяется между участниками информационного обмена на циклически повторяющиеся промежутки времени (TDMA-слоты на рисунке 2).

Метод OFDM в сочетании с TDMA позволяет наиболее эффективно использовать частотно-временной ресурс в задачах управления несколькими роботами из состава РТК ВН.

Следует, однако, учитывать, что при использовании временного уплотнения парциальная пропускная способность канала связи отдельного робота уменьшается пропорционально количеству одновременно активных роботов. В то же время при использовании частотного уплотнения частотный ресурс, занимаемый РТК, увеличивается пропорционально количеству активных роботов. Расширение занимаемого частотного ресурса, в свою очередь, обостряет вопрос электромагнитной совместимости (ЭМС) с другими радиосредствами, работающими в непосредственной близости [17]. Поэтому предпочтительные схемы уплотнения каналов (абонентов)

следует определять для каждого типа РТК в зависимости от количества роботов, активных в единицу времени, а также от специфики применения РТК [18].

5. Интеллектуальные алгоритмы, позволяющие адаптировать канал радиосвязи к изменяющимся условиям эксплуатации (помеховая обстановка, условия распространения). Адаптация подразумевает нахождение компромисса между скоростью передачи информации, спектральной эффективностью, помехоустойчивостью и выходной мощностью. Работа на переднем крае диктует требование высокой скрытности и помехоустойчивости. Наличие радиопередатчика на роботе и ПДУ обуславливает возможность применения противником средств обнаружения и радиоэлектронного противодействия. Это обстоятельство диктует применение в АПД адаптивных режимов работы, среди которых:

— режим адаптивной модуляции, при котором АПД подстраивается к характеристикам канала в каждый момент времени, «перекачивая» скорость передачи в помехоустойчивость и наоборот [18]. В зависимости от отношения сигнал/шум (ОСШ) АПД выбирает метод модуляции, при котором может быть обеспечена устойчивая работа (рисунок 3).

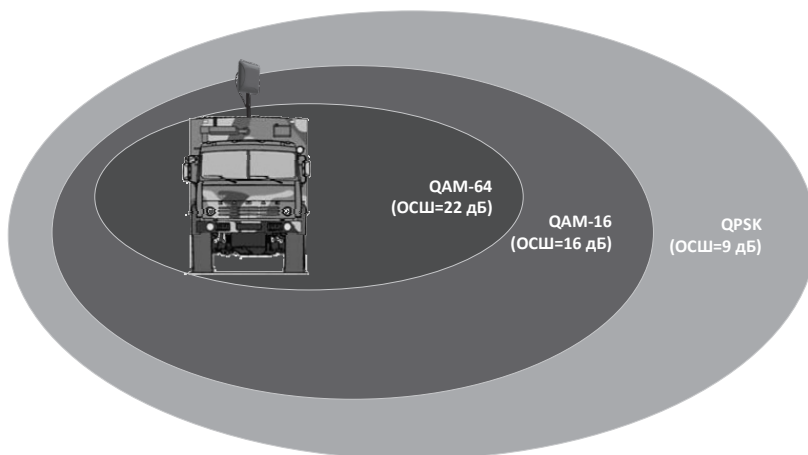


Рис. 3. Предпочтительный метод модуляции в зависимости от отношения сигнал/шум

— режим адаптивной мощности, при котором АПД постоянно регулирует выходную мощность передатчика и излучает тот уровень мощности, который необходим для поддержания заданного качества



связи [19]. Этим улучшается показатель разведзащищенности АПД и РТК в целом, а также обеспечивается объектовая и общая электромагнитная совместимость.

**5. Заключение.** Существующие технические возможности построения РТК обеспечивают решение задач группового взаимодействия объектов. На любом уровне реализации группового взаимодействия к аппаратуре передачи данных предъявляются повышенные требования.

Реализация рассмотренных методов и алгоритмов в аппаратуре (особенно для группового управления РТК) требует использования последних достижений микроэлектроники, что позволит обеспечить высокую производительность обработки (быстродействие), оптимизировать параметры и повысить степень интеграции аппаратуры.

Современные тенденции развития рынка микроэлектроники и телекоммуникаций диктуют разработку так называемых «систем на кристалле» (System-on-Chip – SoC). Под устройствами класса «система на кристалле» (СнК) в общем случае понимаются устройства, на едином кристалле которых интегрированы один или несколько процессоров, функциональных устройств, некоторый объем памяти, ряд периферийных устройств и интерфейсов, — то есть максимум того, что необходимо для решения поставленных перед аппаратурой задач. Разработка «систем на кристалле» предполагает оптимизацию разрабатываемой схемотехники, что непосредственно сказывается на производительности (быстродействии), потребляемой мощности, площади кристалла, и как следствие, стоимости [20, 21].

Разработка и использование отечественной доверенной СнК, реализующей функции модема АПД, позволит унифицировать модемы для переносной, носимой и возимой АПД, обеспечит высокие эксплуатационные характеристики РТК ВН, а также снизит зависимость от поставок иностранной ЭКБ.

### **Литература**

1. *Комченков В.И., Петров В.Ф., Симонов С.Б., Терентьев А.И.* Методика построения роботизированных безэкипажных объектов наземного базирования // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 3. С. 25–30.
2. July Proceedings // Unmanned Ground Systems Roadmap. Robotics Systems Joint Project Office. 2012.
3. *Рубцов И.В.* Вопросы состояния и перспективы развития отечественной наземной робототехники военного и специального назначения // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 3(140). С. 14–20.
4. *Корчак В.Ю., Рубцов И.В., Рябов А.В.* Состояние и перспективы развития наземных робототехнических комплексов военного и специального назначения // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 3. С. 1–10.

5. *Бархоткин В.А. и др.* Электронный комплекс управления для роботизированной специальной пожарной машины // *Известия вузов. ЭЛЕКТРОНИКА*. 2015. Том 20. № 5, С. 543–550.
6. *Бархоткин В.А., Петров В.Ф., Терентьев А.И.* Моделирование движения робототехнического комплекса на основе навигационной информации // «Оборонная техника». 2014. № 3–4. С. 64–69.
7. *Павлов Е.В.* Технический состав робототехнического комплекса тяжелого класса многорежимного тушения пожара // *Пожарная безопасность*. Научно-технический журнал. 2015. № 1. С. 109–110.
8. *Muhl G., Fiege L., Pietzuch P.* Distributed Event-Based Systems // Springer-Verlag GmbH. 2006. 388 p.
9. *Капустян С.Г.* Интеллектуальная система автоматического вождения безэкипажного транспортного средства // *Известия ТРТУ*. 2002. № 1(24). С. 53–54.
10. *Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г.* Управление коллективом интеллектуальных объектов на основе стайных принципов // *Вестник ЮНЦ РАН*. 2005. Т. 1, № 2. С. 20–27.
11. *Мешман Л.М. и др.* Состояние и перспективы повышения эффективности водяных и пенных автоматических установок пожаротушения // *Пожарная безопасность*. Научно-технический журнал. 2015. № 1. С. 103–108.
12. *Сердюк П.Е., Слюсар В.И.* Средства связи с наземными роботизированными системами: современное состояние и перспективы // *Электроника: наука, технология, бизнес*. 2014. № 7(139). С. 66–79.
13. *Sibille A., Oestges C., Zanella A.* MIMO: From Theory to Implementation // Academic Press. 2010. 384.
14. *Крейнделин В.Б., Колесников А.В.* Оценка параметров канала в системах связи с ортогональным частотным мультиплексированием. Учебное пособие // М.: МТУСИ. 2010. 29 с.
15. *Архипкин А.В. и др.* Компьютерное моделирование затухания в радиоканале с подвижным пунктом связи на пересеченной местности // *Материалы 11-ой международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации»*. 2015. С.159–161.
16. *The Unmanned Ground Vehicles (UGV) Market 2010-2020*. URL: <http://www.reportlinker.com/p0254445/The-Unmanned-Ground-Vehicles-UGV-Market-Military-Robots-for-EOD-Counter-IED.html> (дата обращения: 22.02.2016).
17. *Hanzo L., Bhog J., Ni S.* 3G, HSPA and FDD versus TDD Networking: Smart Antennas and Adaptive Modulation // *Wiley-IEEE Press*. 2 edition. 2008. 596 p.
18. *МСЭ-R SM.337-6*, Частотный и территориальный разнос // *Рекомендации международного союза электросвязи*.
19. *Kaemarungsi K., Krishnamurthy P.* On the use of adaptive OFDM to preserve energy in ad hoc wireless networks // *Proceedings of 13th MPRG/Virginia Tech Symposium on Wireless Personal Communications*. 2003.
20. *Greaves D. J.* System on Chip Design and Modelling // *University of Cambridge Computer Laboratory Lecture Notes*. 2011. 130 p.
21. *Немудров В., Корнеев И.* Микросхемы для телекоммуникационной аппаратуры. Нужны ли отечественные разработки? // *ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес*. 2008. №6. С.26-31.

## References

1. *Komchenkov V.I., Petrov V.F., Simonov S.B., Terent'ev A.I.* [A method for constructing robotic unmanned ground-based facilities]. *Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki – Vestnik SFU. Technical science*. 2013. vol. 3. pp. 25–30. (In Russ.).

2. July Proceedings. Unmanned Ground Systems Roadmap. Robotics Systems Joint Project Office. 2012.
3. Rubcov I.V. [Current Situation And Perspective Of Development For Ground Military And Special Robotics]. *Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki – Vestnik SFU. Technical science*. 2013. vol. 3(140). pp. 14–20. (In Russ.).
4. Korchak V.Ju., Rubcov I.V., Rjabov A.V. [State of the art and prospects of development for military and special-purpose ground-based robotic systems]. *Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii – Engineering Journal: Science and Innovation*. 2013. vol. 3. pp. 1–10. (In Russ.).
5. Barhotkin V.A. et al. [The electronic control system for robotic special fire engine]. *Izvestija vuzov. JeLEKTRONIKA – Bulletin universities. Electronics*. 2015. vol. 20. no .5, pp. 543–550. (In Russ.).
6. Barhotkin V.A., Petrov V.F., Terent'ev A.I. [Simulation of the motion robotic system on the basis of the navigation information]. «*Oboronnaja tehnika*» – "*Defense Technology*". vol. 3–4. 2014. pp. 64–69. (In Russ.).
7. Pavlov E.V. [Technical staff robotic system heavy-class multi-mode fire fighting]. *Pozharnaja bezopasnost'. Nauchno–tehnicheskij zhurnal – Fire safety. Scientific and technical journal*. 2015. vol. 1, pp. 109–110. (In Russ.).
8. Muhl G., Fiege L., Pietzuch P. *Distributed Event-Based Systems*. Springer-Verlag GmbH. 2006. 388 p.
9. Kapustjan S.G. [Intelligent system for automatic driving unmanned vehicle]. *Izvestija TRTU – Vestnik TSRU*. 2002. vol. 1(24). pp. 53–54. (In Russ.).
10. Kaljaev I.A., Gajduk A.R., Kapustjan S.G. [Managing a team of intelligent objects based on old principles]. *Vestnik JuNC RAN – Vestnik SSC RAS*. 2005. vol. 1, no. 2. pp. 20–27. (In Russ.).
11. Meshman L.M. et. al. [Status and prospects for raising the efficiency of water and foam automatic fire extinguishing systems]. *Pozharnaja bezopasnost'. Nauchno-tehnicheskij zhurnal – Fire safety. Scientific and technical journal*. 2015. vol. 1. pp. 103–108. (In Russ.).
12. Serdjuk P.E., Sljusar V.I. [Communication with the ground robotic systems: current status and prospects]. *Jelektronika: nauka, tehnologija, biznes – Electronics: Science, Technology, Business*. 2014. vol. 7(139). pp. 66–79. (In Russ.).
13. Sibille A., Oestges C., Zanella A. *MIMO: From Theory to Implementation*. Academic Press. 2010. 384.
14. Krejndelin V.B., Kolesnikov A.V. *Ocenivanie parametrov kanala v sistemah svyazi s ortogonal'nym chastotnym mul'tipleksirovaniem. Uchebnoe posobie* [Channel estimation in communication systems with orthogonal frequency division multiplexing. Tutorial]. M.: MTUSI. 2010. 29 p. (In Russ.).
15. Arhipkin A.V. et. al. [Computer simulation of attenuation in the radio channel with the mobile point of contact in rough terrain]. *Materialy 11-oj mezhdunarodnoj nauchno–tehnicheskij konferencii «Perspektivnye tehnologii v sredstvah peredachi informacii»* [Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference "Advanced technologies in communication tools"]. 2015. pp.159–161. (In Russ.).
16. The Unmanned Ground Vehicles (UGV) Market 2010–2020. Available at: [www.reportlinker.com/p0254445/The-Unmanned-Ground-Vehicles-UGV-Market-Military-Robots-for-EOD-Counter-IED.html](http://www.reportlinker.com/p0254445/The-Unmanned-Ground-Vehicles-UGV-Market-Military-Robots-for-EOD-Counter-IED.html) (accessed: 22.02.2016).
17. Hanzo L., Bhog J., Ni S. 3G, HSPA and FDD versus TDD Networking: Smart Antennas and Adaptive Modulation. Wiley–IEEE Press. 2 edition. 2008. 596 p.
18. [MSJe–R SM.337–6, The frequency and territorial separation]. Rekomendacii mezhdunarodnogo sojuza jelektrosvjazi. (In Russ.).

19. Kaemarungsi K., Krishnamurthy P. On the use of adaptive OFDM to preserve energy in ad hoc wireless networks. Proceedings of 13th MPRG. Virginia Tech Symposium on Wireless Personal Communications. 2003.
20. Greaves D. J. System on Chip Design and Modelling. University of Cambridge Computer Laboratory Lecture Notes. 2011. 130 p.
21. Nemudrov V., Korneev I. [Chips for telecommunications equipment. Do we need domestic developments?]. *JeLEKTRONIKA: Nauka, Tehnologija, Biznes – Electronics: Science, Technology, Business*. 2008. no. 6. pp. 26–31. (In Russ.).

**Архипкин Андрей Владимирович** — к-т техн. наук, ведущий научный сотрудник, Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (МИЭТ). Область научных интересов: беспроводные системы связи. Число научных публикаций — 103. Andrey.arkhipkin@gmail.com; пл. Шокина, 1, Москва, Зеленоград, 124498; р.т.: 8(499)7208751.

**Arkhipkin Andrey Vladimirovich** — Ph.D., leading researcher, National Research University of Electronic Technology (MIET). Research interests: wireless communication systems. The number of publications — 103. Andrey.arkhipkin@gmail.com; 1, Shokina Sq., Moscow, Zelenograd, 124498; office phone: 8(499)7208751.

**Комченков Владимир Иванович** — ведущий инженер, Управление перспективных межвидовых исследований и специальных проектов (УПМИ и СП). Область научных интересов: вооружение и военная техника, робототехника. Число научных публикаций — 78. aaatt@mail.ru; К-119160, Москва.

**Komchenkov Vladimir Ivanovich** — leading engineer, Management of perspective interspecific researches and special projects of the Ministry of Defence of the Russian Federation. Research interests: arms and military equipment, robotic technology. The number of publications — 78. aaatt@mail.ru; K-119160, Moscow.

**Корольков Дмитрий Николаевич** — ведущий инженер-электроник, Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (МИЭТ). Область научных интересов: электронные вычислительные устройства. Число научных публикаций — 27. jimmy@olvs.miee.ru; пл. Шокина, 1, Москва, Зеленоград, 124498; р.т.: 8(499)7208751.

**Korolkov Dmitry Nikolaevich** — leading electronics engineer, National Research University of Electronic Technology (MIET). Research interests: electronic computing devices. The number of publications — 27. jimmy@olvs.miee.ru; 1, Shokina Sq., Moscow, Zelenograd, 124498; office phone: 8(499)7208751.

**Петров Владимир Федорович** — к-т техн. наук, заместитель директора, Научно – исследовательский институт вычислительных средств и систем управления (НИИ ВС и СУ МИЭТ). Область научных интересов: вооружение и военная техника, системы управления, робототехнические комплексы. Число научных публикаций — 94. pvf@olvs.miee.ru; пл. Шокина, 1, Москва, Зеленоград, 124498; р.т.: 8(499)7208751.

**Petrov Vladimir Fedorovich** — Ph.D., deputy director of computing and control systems research institute, National Research University of Electronic Technology (MIET). Research interests: arms and military equipment, management systems, robotic complexes. The number of publications — 94. pvf@olvs.miee.ru; 1, Shokina Sq., Moscow, Zelenograd, 124498; office phone: 8(499)7208751.

**Симонов Сергей Борисович** — к-т техн. наук, ведущий инженер-программист, Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (МИЭТ). Область научных интересов: операционные системы, вычислительные сети, программирование. Число научных публикаций — 34. sb.simonov@gmail.com; пл. Шокина, 1, Москва, Зеленоград, 124498; п.т.: 8(499)7208751.

**Simonov Sergei Borisovich** — Ph.D., leading software engineer, National Research University of Electronic Technology (MIET). Research interests: operating systems, computer networks, programming. The number of publications — 34. sb.simonov@gmail.com; 1, Shokina Sq., Moscow, Zelenograd, 124498; office phone: 8(499)7208751.

**Терентьев Алексей Игоревич** — к-т техн. наук, старший научный сотрудник, Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (МИЭТ). Область научных интересов: моделирование, информационно-управляющие системы, нечеткая логика, элементы искусственного интеллекта, системы промышленной автоматки. Число научных публикаций — 45. terentev@olvs.miee.ru; пл. Шокина, 1, Москва, Зеленоград, 124498; п.т.: 8(499)7208751.

**Terentev Alexey Igorevich** — Ph.D., senior researcher, National Research University of Electronic Technology (MIET). Research interests: simulation, management information systems, fuzzy logic, elements of artificial intelligence. The number of publications — 45. terentev@olvs.miee.ru; 1, Shokina Sq., Moscow, Zelenograd, 124498; office phone: 8(499)7208751.

**Поддержка исследований.** Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, проект №2933

**Acknowledgements.** This research is supported by Ministry of Education and Science of Russia, grant 2933.

## РЕФЕРАТ

*Петров В.Ф., Терентьев А.И., Симонов С.Б., Корольков Д.Н., Комченков В.И., Архипкин А.В.* **Задачи группового управления роботами в робототехническом комплексе пожаротушения.**

Одним из путей создания робототехнических комплексов (РТК) специального назначения является модернизация существующих экипажных образцов военной техники. Взаимодействие между роботами в группе может быть представлено в виде ранжированного ряда с возрастанием сложности задачи. По мере возрастания возможностей автономного функционирования роботов объем передаваемой видеoinформации между роботами и пунктом управления сокращается.

Для решения задач группового управления РТК на различных уровнях необходима разработка аппаратуры передачи данных, к которой предъявляются повышенные требования. Рассмотрены проблемы выбора методов и алгоритмов реализации помехоустойчивых каналов связи для робототехнических комплексов специального и военного назначения тяжелого класса. Обосновано, что аппаратура передачи данных для робототехнических комплексов должна быть специализированной, строиться на основе эффективных сигнально-кодовых конструкций, использовать различные методы адаптации канала радиосвязи к изменяющимся условиям эксплуатации (помеховая обстановка, условия распространения). Рассмотрены особенности и варианты построения аппаратуры передачи данных для группового управления роботами, показаны преимущества и недостатки схем временного и частотного уплотнения каналов (абонентов).

## SUMMARY

*Petrov V.F., Terentev A.I., Simonov S.B., Korolkov D.N., Komchenkov V.I., Arkhipkin A.V.* **Problems of Group Control of Robots in the Robotic Complex of Fire Extinguishing.**

One of ways of creation of robotic complexes (RTK) of a special purpose is upgrade of the existing vehicular samples of military equipment. Interaction between robots in group can be presented in the form of the ranged row with increase of complexity of the task. In process of increase of opportunities of independent functioning of robots the volume of the transferred video information between robots and control center is reduced.

Development of the data-communication equipment with high demands imposed is necessary for solving the problems of unmanned robots group control on various levels. In this paper methods and algorithms for noise-immunity communication channel implementation are described. Substantiated that communication equipments for these channels have to be special-purpose and they have to use effective signal-code constructions which can adopt to changing environments. Features and options for multiple unmanned ground vehicles (UGV) control communications are described, advantages and disadvantages of time division multiple access and frequency division multiple access are considered.