

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Иванов В. Г.¹, Лукьянчик В. Н.², Поляков Д. Н.³

Ключевые слова: канал связи, диапазон частот, управление, военные действия, роботы, система, сети, автоматизация, оператор.

Цель исследования. Разработать (обосновать) предложения, способствующие эффективному применению робототехнических комплексов при совместном их применении с обычными видами вооружения в бою и операции, на основе технических решений в области управления и связи.

Метод исследования. Аналитический с привлечением математического аппарата для определения дальности прямой радиовидимости между робототехническим комплексом и наземным пунктом управления в зависимости от высоты размещения антенн и повышения энергетического потенциала радиолинии.

Результат исследования в области применения и управления робототехническими комплексами на основе опыта СВО при обеспечении войск в бою и операции во всех видах выполнения задач: оборона, наступление, итормовые действия, контрбатарейная борьба (война) и другие. В статье сформулирован (определён) перечень общих технических требований к системе управления робототехническими комплексами (СУ РТК), которые включают комплекс мероприятий (задач) как организационного плана, так и технических решений. Собственно, они и явились основополагающими при обосновании, выборе и принятия СУ РТК, обеспечивающей эффективное боевое применение комплекса. Кроме того, в статье найдено рассмотрение управления как одиночными РТК, так и в составе роя. В этом случае централизованное управление будет сочетаться с децентрализованным, так как в одной стае могут находиться (применительно к БПЛА) разведывательные, ударные аппараты и радиоэлектронной борьбы.

Для устойчивого управления РТК необходимо иметь канал связи, который должен обладать помехоустойчивостью, соответствующей пропускной способностью и дальностью для дистанционного управления. В статье приведены математические выражения, которые оказывают влияние на энергетическое состояние радиолинии. Рассмотрены типы и варианты антенн, которые могут размещаться на платформах, объектах и обеспечивать задаваемые требования по коэффициенту усиления.

Научная новизна определяется глубиной обоснования и рассмотрения особенностей применения РТК в современных операциях и разработанными предложениями по повышению устойчивости управления и рекомендациями при выборе частотного диапазона, мощности передатчиков, антенн и их размещения на платформах и объектах.

¹ Иванов Василий Геннадиевич, кандидат военных наук, доцент, председатель Военно-научного комитета Главного управления связи Вооруженных Сил Российской Федерации, Москва. E-mail: wasj2006@yandex.ru.

² Лукьянчик Валентин Николаевич, кандидат военных наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: v-lukyanchik@bk.ru

³ Поляков Дмитрий Николаевич, адъюнкт научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: bryanik51@mail.ru

Введение

Формирование современного облика Вооруженных Сил Российской Федерации требует технического оснащения видов и родов войск новейшими образцами вооружения и военной техники с максимально полной реализацией их потенциальных боевых возможностей и повышенным уровнем их боевой эффективности. Достижение данного уровня возможно за счет рациональной передачи функций по обработке информации и управлению исполнительными устройствами от экипажей к специальным автоматическим (автономным) средствам с частичным или полным выводом самих экипажей из зоны воздействия поражающих факторов. Наиболее перспективным путем решения указанной задачи является создание робототехнических комплексов военного назначения для видов вооружённых сил и родов войск. Главной целью создания системы робототехники является повышение эффективности выполнения задач обеспечения боевых действий и снижение потерь личного состава. Опыт локальных войн и вооруженных конфликтов последних лет свидетельствуют о стремительно возрастающей роли робототехнических комплексов военного назначения и, в первую очередь, комплексов наземного и воздушного применения, при подготовке и ведении военных действий, выполнении задач другими силовыми министерствами и ведомствами [1].

К настоящему времени сложилась определенная классификационная основа РТК ВН, включающая следующие классификационные признаки (рис. 1): среда функционирования, наличие средств движения, массогабаритные характеристики, дальность действия, целевое назначение; уровень организации управления.

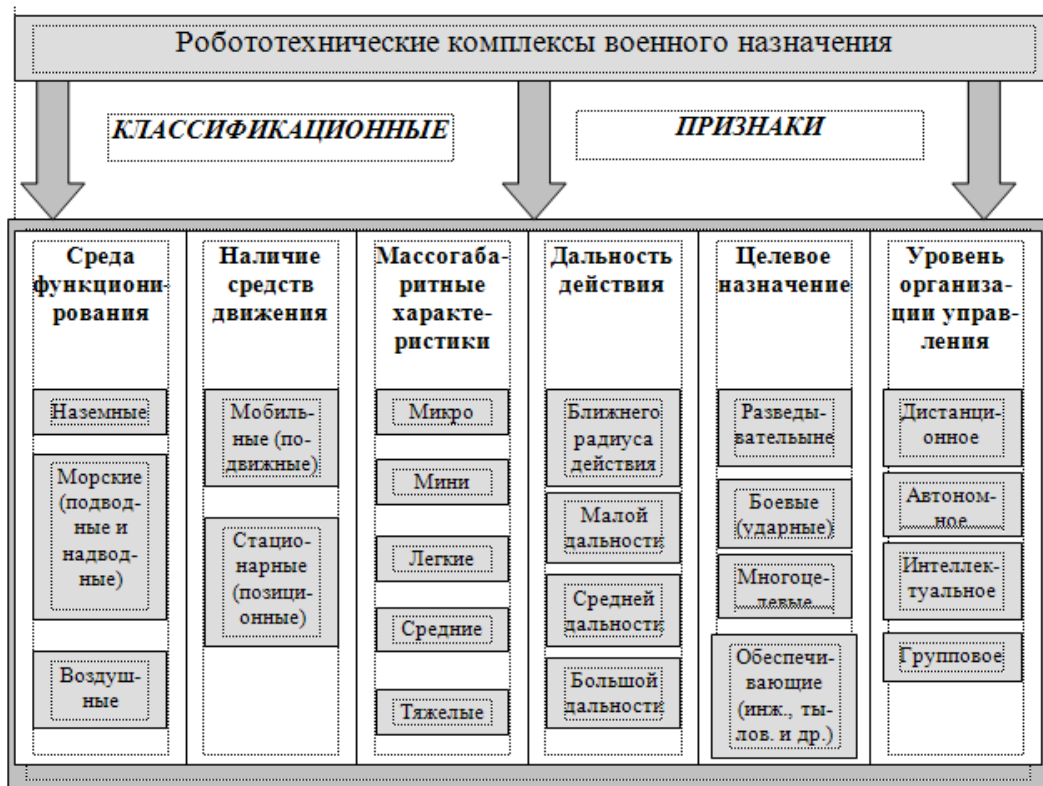


Рис. 1. Классификация робототехнических комплексов военного назначения

РТК могут являться как самостоятельным средством ведения боевых действий, так и (или) дополнять традиционные виды оружия во всех формах и способах боевых и специальных действий при решении различных задач.

Внедрение РТК обеспечивает первое – уменьшение потерь личного состава и техники при выполнении боевых и высокорисковых задач; второе – повышение эффективности решения известных задач и появление возможности выполнения новых задач, недоступных для решения человеком в силу физиологических и интеллектуальных ограничений.

Современные роботизированные системы, комплексы и образцы ВВСТ создаются на основе информационных защищенных компьютерных и телекоммуникационных технологий, с соблюдением основных принципов построения сложных иерархических систем управления.

Следует отметить об интенсивности работ, проводимых в США по разработке и созданию РТК. Роботизация военной техники рассматривается одним из ведущих направлений развития средств вооруженной борьбы, и к 2030 году может достичь уровня 70 % от общего количества боевой техники американских вооруженных сил. В аналогичном направлении формируется перспективный облик вооруженных сил всех передовых зарубежных стран [2].

Нельзя не отметить тот факт, что несмотря на то, что выделяемые ассигнования на роботизацию ВВТ ВС РФ в десятки раз меньше, чем в МО США, в России имеются существенные достижения в рассматриваемой научно-технологической сфере (области).

При создании робототехнических комплексов, необходимо учитывать мировой опыт создания и развития наземных РТК ВН, прежде всего основные направления развития безэкипажных и беспилотных систем (Unmanned Systems Roadmap) на 2007 - 2032 г.г., определяющие цели и направления создания робототехнических средств наземного, морского и воздушного базирования в США (табл. 1).

Данные направления 25-летнего плана ежегодно корректируются с учетом научно-технических достижений и изменений военно-политической обстановки и рассчитаны до 2035 года. При этом, в плане сформулированы основные положения по развитию функциональных параметров робототехнических средств (табл. 2).

В основе развития роботов просматривается комплекс мероприятий, направленных на создание адаптивных систем с возможностью ретрансляции сигналов и изменения своей конфигурации в зависимости от складывающейся обстановки и области применения [5].

Перспективные робототехнические комплексы для информационного обмена и радиоуправления должны оснащаться новыми современными и перспективными цифровыми помехозащищенными радиосредствами, обеспечивающих их применение в сложных условиях обстановки.

Таблица 1.

Развитие наземных РТК по основным направлениям

Направления развития	Годы		
	2015–2020	2021–2030	2031–2035
Способ управления	По радиосвязи с использованием пульта управления	Зашифрованная голосовая и/или условными сигналами кистями рук	Разнообразные наборы звуковых, визуальных и других типов команд
Число взаимодействующих средств	Один робот с одним оператором	Несколько роботов с одним оператором	Взаимодействие групп роботов

Диапазон частот	Фиксированные в радиодиапазоне	Автоматическая смена частоты сигнала	Многочастотная, с изменением режима связи
Сложность задач	Определена оператором перед запуском аппарата на задание	Изменения не определены	Автономная настройка режима работы в зависимости от условий
Условия для работы	Ограничены внешней средой	Частично ограничены суровыми условиями	Не зависят от складывающейся обстановки
Заметность сигнала	Высокая	Средняя	Низкая
Продолжительность работы	Минуты	Часы	Дни
Возможности, состав аппаратуры	Датчики обеспечивают движение, обнаружение и частично распознавание объекта при прямой видимости	Обеспечение данными об обстановке за пределами прямой видимости	Обмен данными между всеми средствами, расширяется база данных во время операции
Маневренность	Несложные повороты, зависимость от наличия преград	Датчики способны обеспечивать данными о сложившейся обстановке без задержек	Автономное прогнозирование обстановки и оптимизация маршрута передвижения
Скорость, км/ч	30-50	80-200	200-300
Роль оператора	Дистанционное управление или контроль	Временный или периодический контроль	Запуск на задание; автоматизированная обработка данных
Условия работы	Необходима прямая видимость или прохождение радиосигнала	Допускается временное нарушение связи	Допускается отсутствие связи с оператором

Таблица 2.

Развитие функциональных параметров робототехнических средств всех типов

Параметры	Годы		
	2015–2020	2021–2030	2031–2035
Энергоснабжение	Аккумуляторные батареи	Аккумуляторные батареи	Источники энергии, преобразователи биомассы
Возможность функционировать в сложных условиях	Зависимость от условий	Аппаратура настраивается в соответствии с условиями	Погодные условия не влияют на работу техники
Способ излучения сигнала	Пассивный	Активный	Автоматизированная система маскировки
Структура протокола связи	Индивидуальная	Стандартная	Нестандартная
Система описания объектов	Простая	Сложная	Многоуровневая
Средства связи	Автоматизированная установка ретрансляторов	Изменения не определены	Высокоскоростная автоматизированная сеть
Частота связи	Фиксированная радиочастота	Расширенный диапазон со сменой частот	Настраиваемый режим связи
Распознавание человека	Возможно при неподвижном положении аппаратуры	В движении с задержкой на обработку сигналов	Распознавание биодатчиками без задержки

Взаимосвязь человека с роботом	Управление голосом	Управление голосом, жестами	-
Навигация	Дистанционно управляемая или автономная с ограничениями в ориентации в пространстве	Ограничения вызваны непреодолимыми препятствиями	Автоматизированный выбор маршрута без ограничений в ориентации в пространстве
Преодоление препятствий	Обнаружил-обошел	Прогноз движения объектов	-
Приводы устройств и механизмов	Электромеханические, гидравлические	Устройства из искусственных материалов	Гибридные биомеханические системы
Возможности манипулятора	Уступают возможностям человека	Не уступают возможностям человека	Значительно большие, чем у человека

Разработка и внедрение технологий военной робототехники является одним из приоритетных направлений создания новых и модернизации существующих на вооружении образцов вооружения и военной техники. Роботизация вооружения и военной техники представляет собой комплекс взаимосвязанных военно-технических мер по освоению безлюдных военных технологий в целях придания нового качества образцам вооружения, снижения боевых потерь среди военнослужащих и повышения эффективности ведения боевых действий. В большинстве развитых зарубежных стран ведутся широкомасштабные исследования в области создания робототехнических комплексов наземного, воздушного и морского базирования, развития базовых технологий и технических средств военной робототехники в направлении повышения надежности систем управления движением и вооружением, их автономности, дальности действия, помехозащищенности, решения проблем группового применения, в том числе совместно с экипажными образцами военной техники, безопасности применения.

Широкомасштабное внедрение роботов и технологий робототехники меняет способы ведения боя, операции и технический облик перспективных систем ВВТ, повышает эффективность их применения.

Создание робототехнических комплексов военного назначения требует существенной проработки наиболее важных технологий, необходимых для создания всей номенклатуры перспективных робототехнических средств. При этом типовой образец робота военного назначения может быть представлен в виде совокупности функционально связанных элементов [3]:

- ✓ базовый носитель – это могут быть шасси или корпус любой конфигурации, предназначенные для применения в различных средах;
- ✓ специализированное навесное (встраиваемое) оборудование в виде набора съемных модулей полезной (целевой) нагрузки;
- ✓ средства обеспечения и обслуживания, используемые при подготовке к применению и технической эксплуатации робота.

Состав специализированного оборудования устанавливается, исходя из функционального предназначения робота, и может включать:

- ✓ средства разведки;
- ✓ средства вооружения;
- ✓ навигационные устройства;
- ✓ специальное технологическое оборудование;
- ✓ средства телекоммуникации;

- ✓ специализированные вычислители с программно-алгоритмическим обеспечением;
- ✓ средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ).

Для обеспечения управления и обслуживания в состав комплекса дополнительно включаются:

- ✓ диспетчерский (наземный) пункт управления, контроля и обработки информации;
- ✓ средства доставки, транспортировки и запуска;
- ✓ средства снаряжения, заправки и зарядки;
- ✓ комплект ЗИП.

Такое представление типового робота позволяет выделить технологии критичные для разработки перечисленных элементов. Критические технологии робототехники можно декомпозировать на «основные», т.е. разрабатываемые непосредственно для робототехнических комплексов, и вспомогательные – разрабатываемые для широкой номенклатуры образцов вооружения и имеющие перспективу применения при создании роботов военного назначения.

К основным могут быть отнесены следующие технологии систем:

- ✓ обработки сенсорной информации, оценки ситуации и планирования поведения;
- ✓ автоматического наведения и управления оружием;
- ✓ дистанционного и автономного управления движением;
- ✓ автоматического распознавания образов (целей), анализа ситуаций и динамических сцен;
- ✓ искусственного интеллекта и обучения;
- ✓ интеллектуальных систем группового управления.

К числу вспомогательных можно отнести технологии:

- ✓ автоматизированного управления;
- ✓ создания и функционирования новых перспективных конструкций;
- ✓ энергообеспечения;
- ✓ создания и применения новых материалов и веществ;
- ✓ геоинформационные и точного глобального позиционирования;
- ✓ создания оптических и оптико-электронных средств.

Наличие таких технологий способствует обеспечению необходимой степени автономности и интеллектуальности наземных робототехнических средств, БПЛА и автономных морских аппаратов. В разрабатываемых перспективных роботах устанавливаются самообучающиеся системы с искусственным интеллектом, в которых будут соединены возможности самых передовых технологий в области навигации, визуального распознавания объектов искусственного интеллекта, вооружения, независимых источников питания, маскировки и др. Такие боевые системы будут значительно опережать человека в скорости распознавания окружающей среды (в любой сфере), а также в скорости и точности реагирования на изменения обстановки [4].

Организация управления и связи робототехническими комплексами

Каждый роботизированный образец с учетом его места в боевых порядках и конкретного назначения по уровню своей применимости, подвижности, автономности, живучести и других характеристик должен быть готов к совместному использованию в

составе подразделений с существующими и перспективными образцами вооружения и техники и не ограничивать при этом их боеготовности, боевых и маршевых возможностей.

Особое внимание при разработке комплексов оборудования для РТК уделяется установке его на перспективные унифицированные боевые платформы с целью их применения в режиме как дистанционного управления, так и в автоматизированном (автоматическом) на основе программного обеспечения.

Разработка, а в дальнейшем и применение роботизированных средств с высокой степенью автономности, зависит, прежде всего, от возможности создания автоматизированных системы с автоматическим вождением в условиях различных сред на местности в составе воинских подразделений. На рисунке 2 приведена обобщенная схема системы автономного управления движением (САУД) РТК, которая поясняет смысл технологии дооснащения системы дистанционного управления до уровня полуавтономного и автономного управления. Это потребует решения бортовыми средствами ряда сложных научно-технологических задач. Один из основных принципов создания таких систем – сохранение преимущественности отработанных технических решений и использование автономных робототехнических комплексов на базе дистанционно-управляемых.

Важнейшей составляющей РТК является система технического зрения (СТЗ). В подавляющем большинстве случаев СТЗ передает телевизионные (тепловизионные) изображения среды функционирования при перемещении РТК на местности при выполнении различного рода задач.



Рис. 2. Обобщенная структурная схема САУД РТК

Кроме того, для эффективного управления РТК в особо сложных условиях функционирования (ведения боя) необходимы осмотр определённой зоны местности с различных позиций, возможность знания ее географических и климатических значений, координат (района позиционирования) расположения как самого РТК, так и объектов, по которым проводится выполнение боевых задач (средства противника, зачистка и обработка местности и другие).

Это вызывает потребность создания новых форм и технических средств информационного обеспечения, предоставляющих оператору не только телевизионную и телеметрическую информацию о местоположении и значимости РТК в текущий момент времени, но и подробную информацию о параметрах окружающей среды с наложением на них результатов обнаружения целевых объектов и их распознавания в зоне действия. Такая информация должна предоставляться оператору в форме, обеспечивающей трехмерное моделирование объектов в зоне его действий с возможностью оперативного расчета и планирования действий в условиях недетерминированной обстановки. Полученная информация должна использоваться в бортовом вычислительном комплексе для обеспечения высокоточной навигации и позиционирования мобильного РТК при его автономном перемещении и выполнении сложных технологических операций (задач) в труднодоступных местах, при движении по сложной пересеченной местности с возможной привязкой к спутниковым навигационным системам.

Ряд научно-исследовательских работ в области роботизации Сухопутных войск завершён созданием действующих экспериментальных образцов и РТК поступающих на снабжение различных родов войск.

В СВО эффективно применяются РТК «Курьер», «Утёс», «Уран-4», «Уран-6», «Скорпион-М», «Станкер», установленные на колесные шасси и гусеничные, которые выполняют функции разминирования, ударных с пулемётной установкой, доставки боеприпасов штурмовым группам, действующим в отрыве от основных сил.

Применение наземных РТК позволило изменить тактику действия наших войск. Выдвижение в 1-ом эшелоне РТК вынуждает противника открывать огонь, в результате чего средствами наблюдения и разведки обнаруживаются огневые точки, по которым наносится ракетно-артиллерийский удар, а затем обеспечиваются действия войск.

Особое внимание уделяется разработке комплектов оборудования для установки на перспективные унифицированные боевые платформы с целью их применения в режиме дистанционного управления.

Одним из ключевых элементов развития РТК является разработка перспективных систем управления военного назначения, аппаратно ориентированных на работу в условиях неполноты или нечеткости исходной информации, неопределенности внешних воздействий и среды функционирования, что требует привлечения нетривиальных подходов к управлению и использованию технологий искусственного интеллекта. Очевидно, что при наличии различного рода неопределенностей при случайном характере внешних воздействий, к которым можно отнести непредусмотренное изменение фоноцелевой обстановки, собственных эксплуатационных характеристик объекта управления и параметров среды, высокий уровень автономности, адаптивности и надежности систем управления должен обеспечиваться за счет повышения их интеллектуальных возможностей.

На основании проводимых исследований в области применения РТК приведён ряд общих технических требований к системам управления робототехнических комплексов военного назначения. К ним относятся:

- ✓ построение системы управления по распределенному принципу с использованием как универсальных, так и специализированных вычислительных средств;
- ✓ возможность работы в ручном и автоматизированном режимах работы;
- ✓ обеспечение управления в сложных физико-географических условиях;
- ✓ высокая эксплуатационная надёжность, стойкость к воздействию внешних факторов и ремонтпригодность;
- ✓ возможность управления РТК в составе смешанной (роем) группы;
- ✓ помехоустойчивость;
- ✓ использование мощной бортовой вычислительной системы, способной как производить универсальные алгоритмические вычисления, так и обрабатывать большие параллельные информационные потоки;
- ✓ применение многоканальной системы локальной навигации;
- ✓ наличие многоспектральной системы технического зрения, способной работать в условиях пониженной освещенности и сложных метеоусловиях;
- ✓ наличие высокоскоростных, помехозащищенных каналов связи и управления;
- ✓ высокая нагрузочная способность силовых элементов управления;
- ✓ использование в системе компонентов, отвечающих жестким требованиям по условиям применения в соответствии с требованиями военных стандартов.

Высокие требования предъявляются к информационным каналам и каналам передачи сигналов управления, в том числе к скорости передачи информации, помехозащищенности, криптостойкости, дальности устойчивой связи на пересеченной местности и другие.

Для управления РТК возможно централизованное и децентрализованное управление, автономное и автоматизированное, а также смешанное. (комбинированное), которое организуется в зависимости от их боевого применения.

Для действий одиночных РТК в основном применяется централизованное управление, когда управляющий орган обеспечивает движение (полет) и сопровождение РТК (наземного, воздушного и морского) в зоне боевых действий для ведения разведки и нанесения ударов [5].

Особенностью автономных СУ является то, что сигналы управления движением вырабатываются аппаратурой, целиком расположенной на борту, причем эта аппаратура после запуска не получает никакой информации из пункта управления. Автономные СУ действуют по заранее определенной программе (на примере РТК – БПЛА)

При использовании автономных систем существует два метода получения управляющих сигналов. Первый вариант является характерным при применении БПЛА-ударного дрона «Ланцет-М» в СВО, который после запуска (старта) и набора высоты совершает полёт в горизонтальной плоскости при дистанционном управлении оператором (НПУ), а на заключительном этапе в автономном режиме по установленной программе на основе ГИС определяет цель и наносит удар. В программе заложены изменения по времени основных параметров движения БПЛА (скорость, высота, угол и т.д.), определяющие траекторию движения. Полученные функции времени вводятся в специальные устройства СУ в качестве заданных величин или программ с использованием ГИС. После старта в

процессе полета БПЛА соответствующими устройствами непрерывно изменяются текущие (действительные) значения указанных параметров. СУ осуществляет сравнение расчетных значений параметров с текущими значениями и при их неравенстве вырабатывает соответствующие сигналы управления. Если на БПЛА установлена аппаратура (датчики, устройства сканирования, камеры), позволяющая вести непрерывное измерение её координат в пространстве, то автономное управление можно осуществить по-другому. Координаты, получаемые от аппаратуры, автоматически вводятся в бортовое вычислительное устройство, которое в соответствии с заранее заложенной программой вычисляет величину сигналов управления. Следовательно, заранее не задается определенная траектория, а каждый раз вычисляется в зависимости от текущих координат. При этом предполагается, что координаты объекта предварительно заложены в вычислительное устройство. На работу таких СУ не оказывают влияние искусственно создаваемые помехи. Это основное их достоинство. Кроме того, эти системы можно применять для управления БПЛА с большой дальностью полета в сложной помеховой обстановке [6]. Каждая из этих моделей имеет свои преимущества и может быть предпочтительной в зависимости от ситуации.

Централизованное управление позволяет рою принимать оптимальное или, по крайней мере, «достаточно хорошее», решение быстрее, но требует более высокой пропускной способности для передачи данных центральному источнику, который затем их доводит инструкции (данные) рою.

Однако централизованное управление не всегда является оптимальным, даже если существуют возможности для высокой пропускной способности, так как подробные планы и чрезмерно специфическое управление могут оказаться неустойчивыми в быстро меняющейся среде поля боя. Децентрализованное управление – через локализованных «командиров отделений», механизмы голосования на основе консенсуса или эмерджентную координацию имеет преимущество проталкивать принятие решений непосредственно на поле боя. Это может как ускорить скорость немедленной реакции, так и сделать рой более устойчивым к некоторым перерывам связи.

Роевые модели командования и контроля

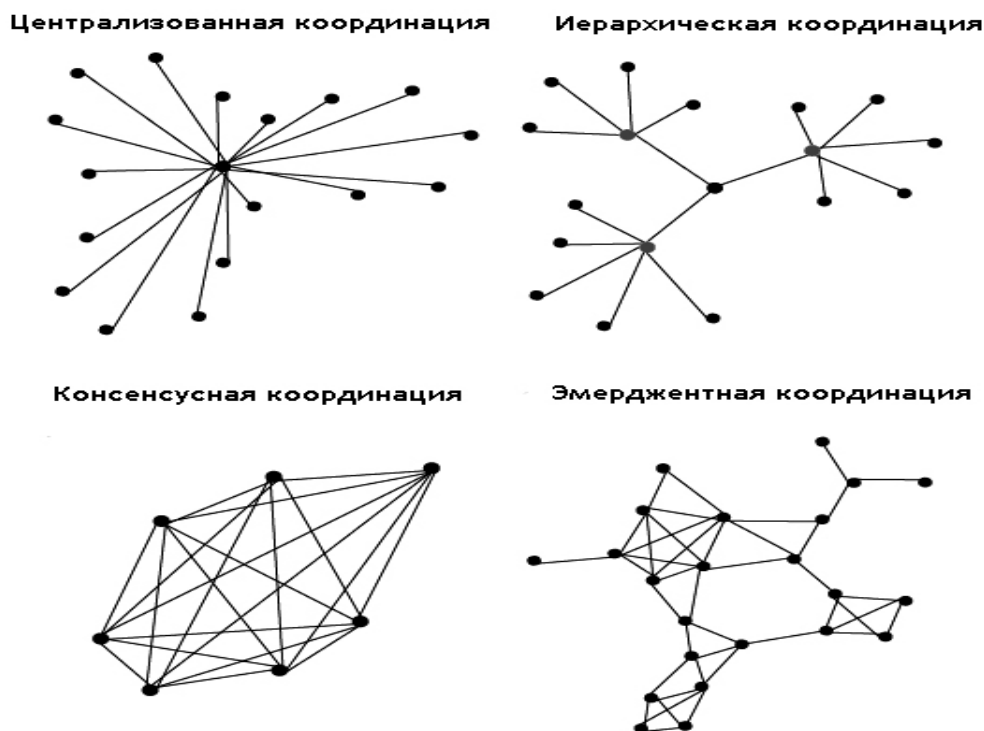


Рис. 3. Роевые модели построения системы управления РТК

Основными областями применения роботизированных образцов военной техники Сухопутных войск РФ, обеспечивающих решение различных задач боевого, технического и тылового обеспечения являются:

- ✓ прорыв заранее подготовленной обороны противника;
- ✓ обеспечение оборонительных действий тактических формирований путем создания системы роботизированных огневых точек в полосе прикрытия подразделений для ведения борьбы с живой силой и бронированными целями противника;
- ✓ обеспечение огневой поддержки наступающих частей и подразделений и подавление огневого противодействия за счет применения мобильных робототехнических комплексов, оснащенных автоматическим оружием и противотанковыми средствами;
- ✓ подавление огневого противодействия роботами с автоматическим оружием и противотанковыми средствами;
- ✓ артиллерийская разведка и обслуживание стрельбы наземной артиллерии;
- ✓ ликвидация нештатных ситуаций с опасными в обращении боеприпасами, обезвреживание взрывоопасных предметов;
- ✓ проведение аварийно-восстановительных работ на базах, арсеналах и в особых условиях;
- ✓ эвакуация с поля боя или с места аварии пострадавшего личного состава, поврежденной техники под огнем противника или в условиях заражения местности;

- ✓ инженерная разведка, минирование, разминирование, проделывание проходов в минно-взрывных заграждениях и обеспечение преодоления прочих заграждений при ведении боевых действий;
- ✓ радиационная, химическая и биологическая разведка на зараженных территориях;
- ✓ постановка дымовых завес в зоне огневого воздействия противника;
- ✓ доставка боеприпасов и ГСМ подразделениям, находящимся в зоне огневого воздействия противника;
- ✓ охрана и оборона позиционных и приграничных районов, мест дислокации частей и подразделений, войсковых объектов, горных перевалов и перекрестков дорог.

При выполнении задач в составе группировки войск в соответствии с предназначением на РТК будут воздействовать различные факторы, которые могут оказать существенное влияние на эффективность его применения. Они должны учитываться при задании требований к РТК.

При групповом применении РТК в операции и бою в условиях организованного противодействия противника возникают проблемы организационного и технического характера, основной которых является отсутствие четких алгоритмов управления группой РТК, выполняющих задачи в одной или разных зонах их нахождения.

В настоящее время рассматривается два основных направления решения задачи управления группой наземных РТК. Первое предусматривает заблаговременную выработку автоматизированной системой управления последовательности действий всех роботов группы, второе – отыскание приемлемой последовательности и ее реализация в процессе выполнения задачи.

Исходя из указанных направлений, прогнозируется поэтапное расширение возможностей систем управления группами комплексов, а также их усложнение при одновременном сокращении числа, привлекаемого для обслуживания дистанционно управляемых средств и личного состава (операторов).

В настоящее время (на 1-м этапе) подавляющее число таких систем предназначено для управления одиночными образцами РТК как со стационарных, так и подвижных пунктов управления. Связь оператора с роботом осуществляется по проводным линиям либо с использованием радиоканала. Прием и обработку управляющего сигнала, а также последующее управление исполнительными приборами осуществляет бортовой вычислительный комплекс.

На последующих этапах (2025 – 2035 года) планируется разработка программного обеспечения и аппаратных средств системы управления группой РТК с одного ПУ. В значительной степени этот процесс стимулируется очередным этапом миниатюризации электронно-вычислительных устройств, позволяющих существенно расширить интеллектуальные возможности РТК.

Создание современных робототехнических комплексов, унифицированных систем управления приведёт к расширению возможностей их применения, что в свою очередь, обеспечит возможность децентрализованных действий соединений и частей на оперативно-тактическом и тактическом уровне на основе оценки текущей обстановки при реализации общего стратегического замысла.

В основу системы управления должны быть заложены алгоритмы, позволяющие обрабатывать и обобщать информацию от разнородных средств, а также решать задачи

обеспечения каналов обмена данными с необходимой пропускной способностью, помехозащищённостью и надёжностью [7].

Для РТК характерным является актуальным интерактивное управление в условиях изменяющихся параметров и неконтролируемых внешних воздействий. В интерактивных робототехнических системах целесообразно использовать двухуровневую систему управления РТК. Верхний уровень представляет собой интеллектуальную робототехническую систему по формированию команд оператора, а нижний выполняет функции исполнительный системы адаптивного управления, обеспечивающей решение задач при действии случайных факторов, не учтенных на этапе планирования и отклоняющих движение от заданного в условиях реальной обстановки.

Если на верхнем уровне используются обобщенные понятия, оценки и правила, то на нижнем используется более точная информация, получаемая с помощью соответствующих датчиков. Организация верхнего уровня управления целесообразна на базе нечетких отношений и нечеткой логики. Это дает возможность оператору (человеку) ставить задачу РТК с использованием лингвистических переменных. Для решения задачи автономного адаптивного управления манипуляционным механизмом мобильного РТК может быть использована система управления, состоящая из системы визуального контроля и системы управления движением. Для «захвата» изображения рабочей зоны используется *WEB*-камера, связанная с системой анализа изображений, представляющей собой комплекс программных и аппаратных средств. Система анализа изображений обрабатывает поток, поступающий с цифровой видеокамеры, и преобразует его в набор параметров, на основе которых система управления движением формирует управляющие воздействия исполнительным механизмам робота.

В процессе работы робототехнический комплекс находится под воздействием переменных возмущающих воздействий, параметры элементов объекты являются нестационарными, при этом не все координаты вектора состояния комплекса возможно измерить и определить внешние возмущения. Поэтому одним из подходов, позволяющие обеспечить требуемое качество управления движением в условиях неопределенности воздействий и параметров, является применение интеллектуальных систем.

Интерактивная система управления роботом выполняет следующие функции:

- ✓ задание траектории (прямолинейной или криволинейной) движения робота;
- ✓ определение расстояния от базовой точки и контроль положения;
- ✓ выдачу информации на экран монитора;
- ✓ обработку сигналов посредством лазерного канала связи.

Прием и передача данных при дистанционном управлении осуществляется посредством модуляции-демодуляции лазерного луча, кодирования-декодирования и последующей программной обработки в диалоговом или автоматическом режимах.

Процесс управления РТК следует рассматривать в виде единой конструктивно развивающейся системы, комплекса работ по автоматизированному управлению, который выполняется должностными лицами управления (так называемых агентов управления) и (программно-аппаратных агентов), ведущихся на основе гибкого сочетания двух режимов работы: автоматического, при котором варианты решений формируются в результате работы программных агентов, и автоматизированного, при котором варианты решений формируются в результате интерактивного взаимодействия агентов – должностных лиц.

Важно отметить, что все критерии, на основе которых в системе управления происходят процессы принятия решений, являются конфигурируемыми параметрами сети как в момент планирования применения РТК, так и в момент его боевого применения в соответствии с изменениями динамики решаемых задач.

Из-за динамического характера задач управления, их высокой размерности, сложности формирования полной системы показателей эффективности самой системы управления (из-за корреляции и нечеткого характера многих из них), неполноты и недостоверности контрольной информации целесообразно для одновременного обеспечения высокой функциональной гибкости и быстродействия подсистемы связи РТК использовать нечеткие нейронные сети, использующие нечеткое описание управляемого процесса и системы его управления в виде нечеткой базы знаний, а также преобразующей нечеткое описание в последовательность команд, для достижения целей управления.

Особенностями предлагаемой схемы нечеткой системы управления является: учёт последовательности цикла управления: оценка ситуации, определение цели управления, выявление необходимости управления, поиск допустимых значений и способа достижения поставленной цели и реализации выбранного способа достижения цели.

Сочетание технологии искусственного интеллекта в составе двух независимых теорий – нейронных сетей и нечёткой логики позволит оптимизировать процесс управления робототехническим комплексом путём учёта сложившейся ситуации (по анализу и распознаванию обстановки, целесообразности поведения и другим свойствам), а также требований к системе управления по устойчивости и непрерывности при передаче определённого типа трафика по линиям дистанционного управления.

Для устойчивого управления РТК важное значение отводится устойчивости связи по каналам управления и информационному (при их разнесении).

Для управления РТК оператором с НПУ наиболее приемлемыми являются спутниковая связь и радио в УКВ диапазоне частот. Спутниковая связь позволяет организовать передачу данных на значительные расстояния (более 1000 км), однако, проигрывает УКВ связи по скорости и зависит от наличия свободного ресурса спутниковой системы. Поэтому оптимальным вариантом для управления является использование УКВ каналов

Главным ограничивающим фактором использования УКВ диапазона является дальность прямой радиовидимости между РТК и НПУ, которая рассчитывается как:

$$D = 4,12(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}), \quad (1)$$

где

D – дальность прямой видимости, км;

H_1 – высота первой антенны, м;

H_2 – высота второй антенны, м.

Из полученной зависимости видно, что с учетом ограничений по прямой видимости, возможно организовать УКВ канал связи «РТК – НПУ», как непосредственно, так и путём развёртывания ретрансляторов связи (наземных или воздушных).

При организации связи на больших расстояниях одним из факторов, влияющим на качество, является затухание сигнала на трассе, которое зависит от частоты сигнала, дальности, потери сигнала на трассе. Для компенсации ослабления сигнала можно использовать различные способы, в том числе повышение коэффициента усиления антенн

(главным образом, наземной), использование энергетически выгодных видов модуляции, повышение выходной мощности.

Энергетический потенциал линии связи может быть рассчитан исходя из следующего выражения:

$$E = P_{mpd} - L_{kpd} + G_{apd} - L_{khn} + G_{apd} - P_{spm}, \quad (2)$$

где

E – энергетический потенциал линии связи, дБ;

P_{mpd} – выходная мощность передатчика, дБм;

L_{kpd} – потери в кабеле и антенне передатчика, дБ;

G_{apd} – усиление антенны передатчика, дБи;

L_{khn} – потери в кабеле и антенне приемника, дБ;

G_{apd} – усиление антенны приемника, дБи;

P_{spm} – уровень теплового шума на входе приемника, дБм.

Анализ выражения (2) показывает, что основными факторами, влияющими на энергетический потенциал линии связи являются направленные свойства антенн, мощность передатчика и чувствительность приемника (тепловой шум). Ограничения на массогабаритные характеристики аппаратуры РТК не позволяют разместить на борту крупно апертурную антенну, обеспечивающую высокий коэффициент усиления, и мощное приемо-передающее устройство. Что касается аппаратуры НПУ, то в мобильном варианте возможно размещение на автомобильной платформе параболической антенны диаметром 1–3 м, обеспечивающей усиление порядка 14–25 дБи (для частоты сигнала 600 МГц), и передающего устройства с выходной мощностью порядка 45 дБм [6].

Для обеспечения требуемого уровня усиления бортовой антенны возможно использование многоэлементной антенной решетки с управляемой диаграммой направленности; нескольких переключаемых антенн; параболической антенны на опорно-поворотном устройстве.

Преимуществом антенной решетки является возможность электронного сканирования по азимуту и углу места. Применение активных фазированных антенных решеток при 64 элементах с шириной диаграммы направленности 10° обеспечит коэффициент усиления порядка 25 дБм в диапазоне 390 – 645 МГц.

Использование нескольких переключаемых антенн с узкой диаграммой направленности позволяет обеспечить связь в любом направлении. Так, если антенна имеет ширину диаграммы направленности 60° , тогда равномерное размещение вокруг корпуса РТК 6 таких антенн обеспечит обзор на 360° .

Преимуществом такого варианта является возможность использования единого приемо-передающего модуля, который с использованием коммутатора, будет переключаться на нужную антенну в зависимости от требуемого направления приема/передачи. К недостаткам можно отнести более высокие потери в коммутирующем устройстве и возможные разрывы в передаче данных, обусловленные переключением антенн.

Установка параболической антенны на опорно-поворотном устройстве позволяет использовать одну антенну для непрерывного слежения за НПУ и обеспечивать непрерывную связь. Ориентация поворотной платформы в пространстве может вычисляться с использованием бортовых вычислительных средств и собственной навигационной информации.

Для управления РТК важное значение имеет состояние канала связи, которое в значительной степени определяется выбором установленного средства радиосвязи (радиостанции) и его частотным диапазоном.

Выбор рабочего частотного диапазона радиоканала связи обуславливается несколькими факторами:

- 1) требованиями к массе, габаритам и потреблению приемопередающего устройства БПЛА;
- 2) необходимой дальностью работы при заданной вероятности битовой ошибки;
- 3) требуемой пропускной способностью;
- 4) степени (уровнем) загруженности его другими силовыми структурами;
- 5) возможностью получения лицензии на работу в необходимом диапазоне или возможностью безлицензионной работы.

Целесообразным является выбор диапазона сверхвысоких частот (СВЧ) с применением расширяющих спектр методов (прямое расширение спектра, расширение спектра методом псевдослучайной перестройки несущей частоты). Это позволит создать антенну малых размеров, способную разместиться в профиле крыла или фюзеляже [7].

Для обеспечения максимальной дальности связи необходимо использовать энергетически наиболее выгодные виды модуляции – такие как двоичная фазовая манипуляция (BPSK) и квадратурная фазовая манипуляция (QPSK). При равной энергетической эффективности этих видов модуляции QPSK в два раза спектрально эффективнее, чем BPSK (без учета межсимвольной интерференции). В общем случае, в условиях ограниченной полосы частот, наиболее эффективным методом модуляции является квадратурная амплитудная манипуляция, которая в большинстве случаев более эффективна, чем различные виды частотной. Кроме того, канал связи должен обеспечить передачу данных с заданной скоростью и вероятностью ошибки при больших расстояниях между РТК и НПУ.

Для наземных РТК необходимо учитывать влияние многолучёвости с учётом возможных препятствий (рельеф местности), диаграмму направленности, коэффициент усиления антенны.

Перспективная система связи для управления РТК должна реализовываться на уровне обработки сигнала как программно-определяемая радиосистема, позволяющая в зависимости от условий прохождения сигнала на трассе НПУ -РТК адаптивно изменять виды модуляции, выходную мощность передатчика, виды канального кодирования сигнала, параметры расширения спектра сигнала, скорость передачи данных, соотношение времени передачи и приема для полудуплексных каналов связи, параметры шифрования передаваемых данных.

Создание перспективной системы управления РТК на основе технологий искусственного интеллекта ориентированной на работу в условиях неопределённости внешних воздействий, среды функционирования и динамичности выполняемых задач позволит обеспечить устойчивое управление роботами и эффективное использование боевых возможностей по предназначению. Оснащение средствами искусственного интеллекта РТК и НПУ, объединение их ЭВМ в сети (на сетевом уровне) на основе межвидового информационного обмена будет способствовать эффективному применению РТК в зоне боевых действий, сокращению времени на принятие решения и обеспечения взаимодействия операторов ведущих разведку РТК-(БПЛА) и операторов ударных дронов.

Дальнейшее развитие автоматизированной систем межвидового информационного

обмена приведёт к значительному сокращению времени от начала обнаружения целей разведывательными РТК до их поражения ударными, сокращению времени по доставке боеприпасов, эффективному применению РТК по минированию и разминированию местности РТК.

В заключении необходимо отметить, что управление РТК представляет сложный процесс, включающий действия оператора и поведение РТК, находящегося в движении, которое может быть непредсказуемым, так оно зависит от внутренних факторов и различного характера внешних воздействий – для наземных РТК одни, для воздушных (БПЛА-дроны), другие. Вследствие этого появляются особенности и в организации связи, связанные с конструктивами антенн устройств, диапазона частот управления, мощности передатчика и другие. Важно также учитывать конструкцию самого РТК-несущую платформу. В период проведения СВО создание современных и перспективных РТК получило определяющее развитие.

Выводы

В статье на основе ведения современных операций рассмотрена необходимость применения робототехнических комплексов различного назначения. С учётом возможного применения роботов обоснованы различные варианты управления и направления совершенствования по мере развития технологического процесса, комплексов, средств связи и автоматизации. Значительное внимание уделено обоснованию и выбору радиоканала для дистанционного управления робототехническим комплексом с учетом того, что они могут быть наземными, воздушными и морскими. При этом необходимо учитывать особенности распространения радиоволн, которые оказывают существенное влияние на дальность связи. Рассмотрен и такой фактор, как выбор и установка антенн на платформах РТК и НПУ.

Литература

1. Савин Л.В. Вариант будущей войны: роение боевых роботов // Стратегическая стабильность. 2017. №1 (78). С. 23 -27
2. Баталии Е.В. Создание в США оружия на новых физических принципах // Военное обозрение. 2015. № 6. С.31 -344,
3. Кондратьев А.Е. Боевые роботы США – под водой, в небесах и на суше // Независимое военное обозрение. URL: http://nvo.ng.ru/armament/2010-05-14/8_robots.html. (обращение 10.06.2024)
4. Верба В.С., Татарский Б.Г. Комплексы с БПЛА. Принципы построения и особенности применения комплексов с БПЛА. Книга 1. / М. Издательство «Радиотехника». 2017. 102 с.
5. Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами: сб. докл. и ст. по мат. II научно- практической конф. / под общей ред. А.С. Бодрова, С.И. Безденежных. Коломна: 924 ГЦ БпЛА МО РФ, 2017.С. 56 - 61
6. Полянский И.С., Архипов Н.С., Мисюрин С.Ю. О решении проблемы оптимального управления адаптивной многолучевой зеркальной антенной // Автоматика и телемеханика. 2019. № 1. С. 83–100.
7. Лукьянчук В.Н., Васильева Т.Г., Селезнёв А.В. Повышение эффективности боевого применения, управления БПЛА в вооружённых конфликтах (современных

операций) // Материалы Всероссийской научно-практической конференции / Сборник статей. Серпухов. 2023. С.46 -49.

8. Гудков М.А., Иванов В.Г., Лукьянчук В.Н., Васильева Т.Г. Подготовка в вузе специалистов связи по применению дронов // Военное образование. 2024. №2. С.65 - 70

IMPROVING THE STABILITY OF CONTROL AND COMMUNICATION OF MILITARY ROBOTIC SYSTEMS IN MODERN OPERATIONS

Ivanov V. G.⁴, Lukyanchik V. N.⁵, Polyakov D. N.⁶

Keywords: *communication channel, frequency range, control, military operations, robots, system, networks, automation, operator.*

Objective. *To develop (substantiate) proposals that contribute to the effective use of robotic systems when used together with conventional weapons in combat and operations, based on technical solutions in the field of control and communication.*

Research method. *Analytical with the use of mathematical apparatus to determine the range of direct radio visibility between the robotic complex and the ground control station depending on the height of the antennas and the increase in the energy potential of the radio link.*

The result *of research in the field of application and control of robotic systems based on the experience of the NWO in supporting troops in combat and operations in all types of tasks: defense, offensive, storm operations, counter-battery warfare (war) and others. The article formulates (defines) a list of general technical requirements for the control system of robotic complexes (RCS), which include a set of measures (tasks) of both organizational plan and technical solutions. Actually, they were fundamental in the substantiation, selection and adoption of the RTK control system, which ensures the effective combat use of the complex. In addition, the article considers the control of both single RTKs and as part of a swarm centralized control will be combined with decentralized, since in one flock there may be (in relation to UAVs) reconnaissance, strike vehicles and electronic warfare.*

For stable control of the RTK, it is necessary to have a communication channel, which must have noise immunity, appropriate bandwidth and range for remote control. The article presents mathematical expressions that affect the energy state of a radio link. The types and options of antennas that can be placed on platforms, objects and meet the specified requirements for the gain factor are considered.

The scientific novelty is *determined by the depth of substantiation and consideration of the features of the use of RTS in modern operations and the developed proposals for improving the stability of control and recommendations for the selection of the frequency range, the power of transmitters, antennas and their placement on platforms and objects.*

References

1. Savin L.V. Variant budushhej vojny: roenie boevyh robotov // Strategicheskaja stabil'nost'. 2017. №1 (78). S. 23 -27

⁴ Vasily G. Ivanov, Ph.D.(of Military), Associate Professor, Chairman of the Military Scientific Committee of the Main Directorate of Communications of the Armed Forces of the Russian Federation, Moscow. E-mail: wasj2006@yandex.ru.

⁵ Valentin N. Lukyanchik, Ph.D.(of Military), Associate Professor, Senior Researcher at the Research Center of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: v-lukyanchik@bk.ru

⁶ Dmitry N. Polyakov, Adjunct of the Research Center of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: bryanik51@mail.ru

2. Batalii E.V. Sozdanie v SShA oruzhija na novyh fizicheskikh principah // Voennoe obozrenie. 2015. № 6. S.31 -344,
3. Kondrat'ev A.E. Boevye roboty SShA – pod vodoj, v nebesah i na sushe // Nezavisimoe voennoe obozrenie. URL: http://nvo.ng.ru/armament/2010-05-14/8_robots.html. (obrashhenie 10.06.2024)
4. Verba V.S., Tatarskij B.G. Kompleksy s BPLA. Principy postroenija i osobennosti primenenija kompleksov s BPLA. Kniga 1. / M. Izdatel'stvo «Radiotekhnika». 2017. 102 s.
5. Perspektivy razvitija i primenenija kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami: sb. dokl. i st. po mat. II nauchno- prakticheskoj konf. / pod obshej red. A.S. Bodrova, S.I. Bezdenezhnyh. Kolomna: 924 GC BpLA MO RF, 2017.S. 56 - 61
6. Poljanskij I.S., Arhipov N.S., Misjurin S.Ju. O reshenii problemy optimal'nogo upravlenija adaptivnoj mnogoluchevoj zerkal'noj antennoj // Avtomatika i telemekhanika. 2019. № 1. S. 83–100.
7. Luk'janchuk V.N., Vasil'eva T.G., Seleznjov A.V. Povyshenie jeffektivnosti boevogo primenenija, upravlenija BPLA v vooruzhjonnyh konfliktah (sovremennyh operacij) // Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii / Sbornik statej. Serpuhov. 2023. S.46 -49.
8. Gudkov M.A., Ivanov V.G., Luk'janchuk V,N., Vasil'eva T.G. Podgotovka v vuze specialistov svjazi po primeneniju dronov // Voennoe obrazovanie. 2024. №2. S.65 - 70