

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ и СВЯЗЬ

№1 (04) 2025

ТЕМА НОМЕРА:

ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
В УСЛОВИЯХ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ

НЕОБХОДИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОДГОТОВКЕ ВОЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ
ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

WWW.TELEMIL.RU

DOI: 10.21681/3034-4050



Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-88069 от 16.08.2024

Журнал принимает к публикации статьи по специальностям перечня научных специальностей 6.0.0.

Главный редактор

ИВАНОВ Василий Геннадьевич, д.в.н., доцент, Москва

Председатель Редакционного совета

РУБИС Александр Анатольевич, к.т.н., Москва

Шеф-редактор

МАКАРЕНКО Григорий Иванович, с.н.с., Москва

Редакционный совет

ПЫЛИНСКИЙ Максим Валерьевич, д.в.н., профессор, Белоруссия

РЫЖОВ Геннадий Борисович, д.в.н., профессор, Москва

СТАРДУБЦЕВ Юрий Иванович, д.в.н., профессор, Санкт-Петербург

ХАРЧЕНКО Евгений Борисович, к.соц.н., доцент, Москва

Редакционная коллегия

БУЙНЕВИЧ Михаил Викторович, д.т.н., профессор, Санкт-Петербург

ГЛУШАНКОВ Евгений Иванович, д.т.н., профессор, Санкт-Петербург

ИВАНОВ Сергей Александрович, д.т.н., Санкт-Петербург

КОЗАЧОК Александр Васильевич, д.т.н., доцент, Орел

КОРОБКА Сергей Владимирович, д. в.н., Москва

КОСТОГРЫЗОВ Андрей Ивнович, д.т.н., профессор, Москва

МАКАРЕНКО Сергей Иванович, д.т.н., доцент, Санкт-Петербург

МАРКОВ Алексей Сергеевич, д.т.н., доцент, Москва

РЫЖКОВ Анатолий Васильевич, д.т.н., профессор, Москва

САВИЩЕНКО Николай Васильевич, д.т.н., профессор, Санкт-Петербург

СИВАКОВ Игорь Романович, д.в.н., Москва

ЦИМБАЛ Владимир Анатольевич, д.т.н., профессор, Серпухов

ФИНЬКО Олег Анатольевич, д.т.н., профессор, Краснодар

Учредитель и издатель

ФГБУ «16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт Министерства Обороны РФ»
(Военно-научный комитет Главного управления связи Вооружённых Сил Российской Федерации)

Над номером работали:

Г. И. Макаренко – шеф-редактор, Н. В. Селезнев – отв. секретарь,
В. А. Пестерева – верстка, А.М. Старков – маркетинг и подписка

Подписано к печати 10.02.2025 г.

Общий тираж 120 экз. Цена свободная

Адрес: 141006, г. Мытищи Московской обл.,

1-й Рупасовский пер., д. 1.

E-mail: editor.tis@yandex.ru тел.: +7 (995) 153-43-88

Требования, предъявляемые к рукописям,
размещены на сайте: <https://telemil.ru/>

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЗДРАВЛЕНИЕ

Зарудницкий В2

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОТИВОБОРСТВО В ВОЕННОЙ СФЕРЕ

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ В УСЛОВИЯХ ИХ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Стародубцев Ю.И., Худайназаров Ю.К., Ермолаев В.Е.3

АНАЛИЗ СПУТНИКОВОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ США «НАВСТАР» КАК ОБЪЕКТА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

Ануфриев А.А., Чиркин П.М., Шипунов В.А.20

НАЗНАЧЕНИЕ, ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Соколов А.П., Ермолаев В.Е., Худайназаров Ю.К.34

МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ И СИСТЕМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ИММИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ ПРИ ПОДГОТОВКИ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

Падишин С.А., Савицкий А. Ю.44

ВОЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ LI-FI НА УЗЛАХ СВЯЗИ ПУНКТОВ УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Пряжкин А.М., Заикин Р.В., Лукьянчик В.Н.52

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПОСТРОЕНИЮ ЗЕМНОЙ СТАНЦИИ С ПАРЦИАЛЬНЫМИ КАНАЛАМИ

Драгунов М.Ю.60

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Брежнев Д.В., Вдовченко Е.С., Савельева М.В., Абилов В.Н.68

ВОЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ

РАЗРАБОТКА АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ПЛАНАРНЫМ АНТЕННЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Бородулин Р.Ю., Лукьянов Н.О., Лянгузов Д.А.74

ДИСКУССИОННАЯ ТРИБУНА

НЕОБХОДИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОДГОТОВКЕ ВОЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ И КАДРОВОГО РАЗВИТИЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Иванов В.Г., Лукьянчик В.Н.86

Начальнику 16 Центрального
научно-исследовательского испытательного
ордена Красной Звезды института
имени Маршала войск связи А. И. Белова
Министерства обороны Российской Федерации
полковнику Р. Н. ПАНКОВУ

Уважаемый Роман Николаевич!

От имени коллектива Военной академии Генерального штаба
Вооруженных Сил Российской Федерации
поздравляю Вас и вверенный Вам коллектив

с Днем российской науки!

Во все времена движущей силой общественного прогресса служила творческая научная мысль. В наше время значение эффективной науки поднялось до высот небывалых, едва ли не ежедневно удивляя настоящими открытиями в различных ее областях. Не случайно в Российской Федерации 2022–2031 годы объявлены Десятилетием науки и технологий.

На передовых рубежах научной мысли ведет свои сражения и военная наука как важнейший элемент оборонной мощи суверенного государства. Энергия военных ученых, помноженная на талант, на знания и высочайшую ответственность перед Родиной, обеспечивает стране безусловное лидерство во многих областях научного знания. Преданность избранному делу и самоотверженный труд военных ученых лежат в основе научных достижений, без которых немыслимо движение вперед в деле обеспечения высокой обороноспособности государства.

От имени коллектива академии желаю Вам и вверенному Вам коллективу новых успехов в продолжении дела отечественных военных ученых старших поколений, выражая искреннюю благодарность всем, кто бережет и поднимает на новую высоту престиж российской науки, принимает активное участие в решении важнейших задач развития и надежной защиты общества и страны!

Здоровья, счастья и благополучия труженикам военного научного поприща! Новых свершений и открытий во благо нашего Отечества!

***С уважением,
генерал-полковник***

В. Зарудницкий

Начальник Военной академии Генерального штаба
Вооруженных Сил Российской Федерации

генерал-полковник



В. Зарудницкий

08 февраля 2025 г.

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ В УСЛОВИЯХ ИХ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Стародубцев Ю.И.¹, Худайназаров Ю.К.², Ермолаев В.Е.³

DOI:10.21681/3034-4050-2025-1-3-19

Ключевые слова: концепция боевого применения, оперативно-тактические модели, информационно-управляющая система, защищаемые информационные ресурсы, информационная модель, конфликтующие системы, информационно-измерительный квант.

Цель работы: состоит в исследовании проблемы обеспечения информационной безопасности системы управления робототехническими комплексами (РТК).

Метод исследования: системный подход применен для анализа состава, функций, роли и места информационно-управляющей системы в системе управления современных и перспективных РТК.

Результаты исследования: приведены результаты анализа основных свойств и требований к системам управления РТК ВН как системам управления военного назначения. Выявлены основные проблемы повышения эффективности систем управления РТК ВН.

Представлены специфические угрозы информационной безопасности РТК ВН и недостатки в теории и практике обеспечения информационной безопасности системы управления РТК ВН, определены основные симптомы проблемы. Известные в настоящее время теоретические модели не отражают существенные особенности формирования и защиты информационных ресурсов системы управления РТК ВН, что не позволяет обеспечить адекватность системы защиты. Методом аналитического моделирования сформирована проблема информационной безопасности управления РТК военного назначения (ВН). Информационная модель взаимодействия в конфликтных условиях может быть основой для разработки модели формирования и защиты информационных ресурсов системы управления РТК ВН, а концепция информационно-измерительного кванта может использоваться для устранения дефицита информационных ресурсов и повышения доверия к интеллектуальным информационно-управляющим системам.

Научная новизна: заключается в формализации информационного взаимодействия между объектами и субъектами системы управления РТК ВН в базисе теоретической информатики с учетом конфликтности условий функционирования РТК ВН.

Введение

Низкая эффективность РТК различного назначения в ходе специальной военной операции обусловлена недостаточной проработкой оперативно-тактических моделей их боевого применения, недостатками используемых технологий управления и связи, недостатками методов и технологий обеспечения информационной безопасности системы управления РТК, а также недостатками системы подготовки операторов РТК.

Скорость изменения обстановки и соответственно возрастающий объем управляющей информации таковы, что человек-оператор в

режиме дистанционного управления не способен выполнять задачи своевременно. Поэтому требуется повышение степени автономности РТК за счет интеллектуализации информационно-управляющей системы и повышение степени доверия к интеллектуальным системам управления РТК в условиях их боевого применения.

В этой связи системы управления РТК военного назначения (РТК ВН) являются новой ветвью развития систем управления оружием, отличающейся высокой степенью автономности и динамичности объектов управления. В перспективе системы управления данного

¹Стародубцев Юрий Иванович, доктор военных наук, профессор, профессор кафедры Безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. Email: starodub@mail.ru

²Худайназаров Юрий Кахрамонович, кандидат технических наук, докторант кафедры Безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: yu-78@ya.ru

³Ермолаев Владимир Евгеньевич, адъюнкт кафедры Безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: VErmol@ya.ru

вида, расширяясь, должны поглотить системы управления войсками и системы управления оружием, так как робототехнические войска станут основным родом войск.

Следует отметить, что определение РТК в действующих нормативных документах требует расширенного понимания роботизированного средства, в котором модуль движения может отсутствовать, а степень автономности может быть регулируемой. Тогда телекоммуникационное оборудование и средства автоматизации управления, выполняющие автономно большую часть своих функций (возможно, с дистанционным контролем оператором), являются робототехническими комплексами. Следовательно, инфотелекоммуникационная сеть представляет собой группу РТК (робототехническую систему), специализирующихся на процессах передачи и обработки информации (информационных потоков), т. е. являются роботизированной системой связи и управления.

Исследование вопросов обеспечения информационной безопасности систем управления РТК является одним из ключевых направлений решения проблемы повышения эффективности РТК военного назначения. Поэтому требуется исследование новых подходов, методов и технологий защиты и контроля защищенности информационно-управляющих систем РТК.

Известные в настоящее время результаты анализа опыта боевого применения РТК в основном отражают методы и средства защиты военных объектов от РТК ударного типа. Вопросы защиты РТК от информационно-технических воздействий в ходе их боевого применения исследованы недостаточно.

Одной из актуальных задач обеспечения информационной безопасности системы управления РТК ВН является формирование единой критериальной базы оценки защищенности от технической разведки и информационно-технических воздействий противника. Известные в настоящее время методики оценки защищенности объектов от технической разведки и информационно-технических воздействий [1] не имеют общей теоретической основы, что не позволяет адекватно выполнять свертку частных показателей защищенности и оценивать эффективность защитных функций для группы РТК. К тому же методы и технологии контроля безопасности связи [2] не позволяют обрабатывать в режиме реального времени большие объемы информации, циркулирующей в контурах управления РТК, на предмет возможной утечки защищаемых сведений или имитонавязывания.

В данном направлении требуется разработ-

ка модели угроз информационной безопасности СУ РТК и модели информационного конфликта между системой управления РТК и системой разведки и информационно-технических воздействий противника. Для обоснования требований по информационной безопасности, а также исследования методов и технологий защиты информационных ресурсов систем управления РТК ВН требуется разработка достаточно адекватной модели информационного конфликта между информационно-управляющей системой РТК (или группы РТК) и системой технической разведки и ИТВ противника, отражающей взаимосвязь свойств защищаемых информационных ресурсов с показателями эффективности системы управления РТК и эффективности ИТВ на системе управления РТК.

В настоящее время в нормативных документах и научных публикациях нет единства понимания сущности информационных ресурсов. Требуется разработка общей модели формирования информационных ресурсов на основе аксиологического подхода, которая позволит обосновать динамические критерии защищенности (уровни доверия) информационных ресурсов с учетом характеристик их пользователей, времени использования (обработки) и количества.

Решение поставленной задачи

Опыт специальной военной операции на Украине показал, что роботизированные комплексы сухопутных войск способны решать широкий спектр задач, основными из которых являются:

- ведение разведки и наблюдения;
- обеспечение связи для управления подразделениями;
- огневое поражение объектов противника;
- эвакуация раненых из «красной зоны»;
- обнаружение, обследование и обезвреживание мин, фугасов и самодельных взрывных устройств;
- вскрытие позиций снайперов, огневых средств, засад и систем наблюдения противника;
- обследование зданий, сооружений и отдельных объектов;
- доставка материально-технических средств к месту назначения.

Тактика боевых действий в ходе специальной военной операции существенно изменяется благодаря новым методам и способам применения ударных и разведывательных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Для достижения эффекта «огневого вала» применяется следующий способ. Службой БПЛА готовятся ударные

дроны, чтобы они переводились в рабочее состояние максимально просто. Штурмовая пехота, выходя на исходную позицию для атаки раскладывает на грунте взятые с собой ударные дроны (более двух десятков) и включает их. Операторы БПЛА подключаются к дронам с помощью направленных антенн и начинают бить по атакуемым позициям с минимальными интервалами за счет короткого подлетного расстояния, что создает эффект подавления и позволяет атакующей пехоте сближаться с атакуемыми позициями.

Используется также тактика засады из множества дронов, когда их удается занести в тыл противника с помощью диверсионно-разведывательных групп (ДРГ), при этом важен выбор места, чтобы обеспечить возможность подключения операторами БПЛА удаленно.

Проблема подавления средствами РЭБ своих дронов решается организацией «коридоров», через которые свои дроны могут пролетать к позициям противника. Часто такие коридоры образуются не по плану, а хаотично. Передовые подразделения используют средства РЭБ не скоординированно, по собственному усмотрению и без уведомления подразделений БПЛА. Поэтому значительное время у подразделений БПЛА затрачивается на составление «карты полей РЭБ». В связи с этим актуальна задача повышения эффективности взаимодействия подразделений БПЛА, РЭБ и связи по вопросам мониторинга радиоэлектронной обстановки и управления использованием радиочастотного спектра. Максимальное количество одновременной работающих расчетов БПЛА доходит до 6 ударных и одного наблюдательного (ретранслирующего) дронов. Рота БПЛА обычно действует в составе до 8 расчетов в полосе 2–3 км. Возникает необходимость согласования используемых радиочастот каналов управления и видеоканалов.

Затрудняет выполнение задач подразделений БПЛА необходимость работы в режиме без автоматической стабилизации в условиях ветра (изменения гидрометеорологической обстановки по воздушным эшелонам) и незнакомой местности. Поэтому с оператором БПЛА работает техник, который следит за работой системы управления и при необходимости управляет направленной антенной приемопередатчика.

Связанная с предыдущей вторая задача заключается в информационном обеспечении подразделений БПЛА и управлении доступом к базам данных по радиоэлектронной и гидрометеорологической обстановке, а также по оптимальным маршрутам для БПЛА (дневным и ночным секторам или коридорам, свобод-

ным от воздействия радиопомех и скрытым от разведки противника). Фактически, это задача формирования информационных ресурсов системы управления РТК ВН.

При сопровождении штурмов с помощью БПЛА используется способ «карусели» для непрерывного наблюдения за штурмом. При недостаточном количестве БПЛА из-за разряда батареи может потребоваться привлечение БПЛА соседних подразделений. В этом случае информация передается через офицера штаба, а не напрямую к штурмующим подразделениям. Кроме того, использование квадрокоптеров ближнего радиуса действия артиллерийскими подразделениями затруднено тем, что они находятся далеко от линии фронта, поэтому зачастую артиллерийские расчеты получают информацию от «чужих» подразделений, находящихся на переднем крае для корректировки «своего» огня. Это приводит к задержке и искажениям в передаче информации.

Система радиоэлектронной разведки (РЭР) противника способна определять местонахождение пульта оператора БПЛА по типовым и индивидуальным демаскирующим признакам (ДМП) даже в условиях сложной электромагнитной обстановки. Наиболее информативными являются ДМП расположения (локализации источников радиоизлучений) и системные признаки деятельности (периодичность, систематичность радиосигналов). Место вылета и погрузки, маршруты движения транспортных БПЛА (агродронов) отслеживаются противником с помощью средств РЭР и видовой разведки. Более скрытым является применение наземных робототехнических средств (беспилотных электротележек).

При использовании тактики «кочующего миномета» расчеты ударных БПЛА относительно безопасно успевают запустить 4–8 дронов с одной позиции. Учитывая длительное время подлета дрона, противник имеет возможность обнаружить местонахождение расчета БПЛА и начать огонь на поражение. Чтобы затруднить разведке противника обнаружения расчета БПЛА, при возвращении на стартовую позицию маршрут прокладывается через лесной участок.

Использование в системой управления дронами SIM-карт для каналов управления и видеоканалов по сетям 4G и 5G позволяет обеспечить проникновение и сохранение устойчивости управления в зданиях и защитных сооружениях.

Могут использоваться волоконно-оптические линии управления дронами, а также радиоканалы с псевдослучайной перестройкой радиочастот каналов управления. Ожидается появление дронов, которые устойчивы к

воздействию радиопомех и используют функции автозахвата цели с помощью машинного зрения.

Таким образом, опыт боевого применения РТК показывает, что существенно увеличивается дальность их применения и функциональность. В то же время преимущественно используется режим дистанционного управления РТК. Это не позволяет в условиях противоборства управлять боевым роботом одному оператору, так как требуется обеспечение разведки, охранения и связи. Основными недостатками режима дистанционного управления, обусловленными необходимостью постоянного информационного обмена с оператором, являются: высокие требования к каналу связи, ограниченный радиус действия канала связи, демаскировка объекта и пункта управления, возможность применения средств радиоэлектронного и огневого противодействия. В связи с этим требуется совершенствование способов и систем управления РТК для их более эффективного группового применения.

Одним из недостатков в практике является отсутствие информационных ресурсов (баз данных) для информационно-управляющих систем РТК ВН:

- по радиоэлектронной обстановке и оптимальным маршрутам движения;
- по гидрометеорологической обстановке;
- по составу и удалению до РТК ближайших соседних подразделений;
- по разведке объектов противника;
- по доступным каналам связи для управления и передачи данных с целевой нагрузкой.

Системы управления РТК ВН (СУ РТК ВН) образуют новую развивающуюся ветвь специальных систем управления боевыми средствами.

Система управления военного назначения (СУВН) — это совокупность функционально взаимосвязанных органов и пунктов управления, систем связи и автоматизации и специальных систем. В общем случае СУВН включает в себя оперативную и техническую подсистемы.

Техническая подсистема обеспечивает обмен информацией между элементами внутри системы управления и между взаимодействующими системами управления. В нее входят система связи, система автоматизации, ряд специальных систем.

По характеру управляемых объектов СУВН подразделяются на:

1. Системы управления войсками;
2. Системы управления боевыми средствами (оружием);
3. Специальные системы управления (специаль-

ного назначения).

Системы управления боевыми средствами — это системы технологического типа, объектами управления в которых являются оружие и другая боевая техника.

К специальным системами управления оружием (информационно-техническим системам реального времени) относятся системы предупреждения о ракетном нападении, контроля космического пространства, разведывательно-ударные комплексы. Они могут быть организационного или технологического типа.

Развитие СУВН идет в направлении построения комплексных систем управления (организационно-технологического типа). К таким системам относится СУ РТК ВН, особенностью которой является соответствие заданным требованиям.

Требования — условия, положения, предписания, отражающие какое-либо соотношение характеристик свойств системы и их граничных значений, определяемых, как правило, суперсистемой. В настоящее время требования к СУ РТК ВН не сформированы, поэтому рассмотрим основные аспекты, характеризующие особенности СУВН.

Основными свойствами СУВН являются:

- структурно-топологические (структура, число элементов и их взаимосвязи, пространственный размах);
- характеристики функционирования (процесса управления: адекватность, оптимальность, оперативность, непрерывность, скрытность; функционирования системы управления: боевая готовность, устойчивость, мобильность, производительность, безопасность, наблюдаемость, управляемость);
- экономические характеристики (затраты на производство, строительство, эксплуатацию, ресурсопотребление).

Основными способами построения СУВН являются централизованный, децентрализованный, смешанный.

К СУВН предъявляются требования по следующим свойствам:

1. Боевая готовность (способность системы и ее элементов переходить из одного состояния в другое за время, не превышающее допустимое);
2. Устойчивость (способность обеспечивать управление с требуемой эффективностью при воздействии неблагоприятных факторов);
3. Мобильность (способность в установленные сроки разворачиваться, свертываться и пере-

мещать свои элементы, а также изменять свою структуру в соответствии с обстановкой);

4. Производительность (способность преобразовывать требуемые объемы информации в установленные сроки);
5. Безопасность (способность противостоять всем видам разведки, вводу ложной информации и несанкционированному доступу к информации);
6. Качество используемых моделей, методик и алгоритмов управления (способность обеспечить необходимую адекватность управления на основе использования применяемых для выработки управляющих воздействий моделей, методик, алгоритмов);
7. Управляемость (способность изменять свое состояние в необходимых пределах и сохранять требуемые значения показателей существенных свойств при переходе из одного состояния в другое);
8. Ресурсопотребление (характеризует численность привлекаемых к управлению должностных лиц, номенклатуру и количество необходимых технических, программных и других средств).

Новое дополнительное требование к СУ РТК ВН предлагается включить в существующий перечень интероперабельность — способность двух и более информационных систем к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена⁴. Это свойство играет ключевую роль при создании, развитии и объединении информационных систем различных типов и назначения.

Проблемы повышения эффективности боевого применения РТК

Эффективное использование автономных РТК сухопутных войск возможно лишь при их групповом применении и распределении решаемых задач между роботами в группе. Разработка одиночных автономных роботов имеет смысл только для решения специальных задач. Отсутствие согласованной концепции автономных РТК ВН является одной из ключевых проблем повышения эффективности их боевого применения.

Направлениями совершенствования РТК ВН являются:

- комплексный подход к развитию РТК ВН и их

элементов;

- увеличение количества и расширение функционала РТК ВН;
- групповое применение РТК ВН;
- повышение уровня автономности РТК ВН в составе группы;
- повышение эффективности функционирования РТК ВН в различных физических средах;
- обеспечение интероперабельности СУ РТК ВН.

Повышение автономности РТК связано с решением следующих проблем:

- отсутствие разработанной тактики применения РТК СВ;
- отсутствие отечественных сенсоров для технического зрения;
- отсутствие высокоточных бортовых средств навигации;
- недостаток надежных алгоритмов обнаружения, распознавания автономного применения целевой нагрузки;
- проблема скрытой и устойчивой связи;
- проблема формирования информационных ресурсов для системы управления РТК;
- проблема интеллектуализации информационно-управляющих систем РТК при ресурсных ограничениях.

Задача обоснования облика автономных РТК ВН тесно связана с планируемой тактикой применения и должна решаться в комплексе. Известные в настоящее время исследования форм, методов и способов решения боевых и обеспечивающих задач с использованием робототехнических комплексов (РТК) на поле боя в основном направлены на их одиночное применение. Исследования в области группового применения РТК носят преимущественно обобщенный характер. Важное значение для исследований новых форм, методов и способов вооруженной борьбы с применением традиционных сил и средств совместно с РТК имеет моделирование боевых действий.

На систематизацию опыта использования групп РТК, выработку единых подходов к формированию сценариев боевого применения групп РТК нацелены работы Пшихопова В.Х. В работе [3] сформирована терминологическая база, используемая для разработки сценариев применения групп РТК на поле боя, обобщенная структура сценария на примере модели применения РТК. В частности, определены термины «групповое управление» и «групповое применение», «сценарий», «боевой эпизод», «информационный боевой эпизод», «обеспечивающий эпизод»,

⁴ГОСТ Р 71063-2023 Информационные технологии. Робототехнические комплексы. Интероперабельность. Общие положения.

«ударный эпизод», «модель сценария», «реализация модели сценария». Групповое управление направлено на реализацию отдельных действий РТК ВН и их групп: перемещение, взаимодействие, целераспределение и т. д.

Групповое применение реализует функции более высокого уровня, связанные с боевым применением РТК ВН: планирование выполнения боевых и обеспечивающих задач, контроль выполнения задач и др.

На основе особенностей группового применения вырабатываются требования к управлению группой РТК ВН и к системе группового применения.

Многие особенности группового применения РТК ВН мало изучены и не могут быть формализованы. Авторы [3] используют сценарный подход для формализации роли и места РТК на поле боя в различных видах вооруженных конфликтов. Сценарий содержит последовательность боевых эпизодов, фаз, этапов, соответствующих реализаций сценария с учетом закономерностей военных действий в части решаемой задачи и замыслом разработчика. Определены требования к типовым сценариям в форме уровней зрелости сценариев. Последовательная детализация и уточнение моделей типовых сценариев применения РТК ВН позволяет перейти к имитационному моделированию. Промежуточным этапом перед имитационным моделированием является разработка модели сценария. При этом модель сценария формируется на этапе планирования реализации сценария исходя из конкретных условий обстановки с учетом качественного и количественного состава своих войск и войск противника, их пространственного расположения, условий среды и других факторов. Жизненный цикл сценария боевого применения РТК ВН включает: разработку сценария; формализацию сценария; моделирование действий группы РТК с помощью имитационной модели; полевую апробацию сценария; отработку сценариев при решении группами РТК ВН боевых и обеспечивающих задач.

Модель оценки целесообразности боевого применения РТК ВН на примере БПЛА предложена в работе [4]. В качестве показателя целесообразности боевого применения БПЛА использован показатель «эффективность/стоимость» (приведенная стоимость выполнения боевой задачи). Автором отмечено, что современные тенденции применения БПЛА идут по пути уменьшения их массогабаритных параметров, удешевления конструкции и повышения маневренности, объединения их в группы, что позволяет выполнить боевую задачу даже при увеличении количества потерянных БПЛА.

По результатам анализа отечественного и зарубежного опыта разработки и применения РТК ВН основными тенденциями развития являются: поэтапное наращивание интеллектуальных возможностей систем дистанционного управления с постепенным исключением функций управления и контроля со стороны операторов, повышение подвижности и продолжительности автономной работы РТК, достижение массовости применения РТК в составе перспективных систем вооружения. Повышение автономности и эффективности взаимодействия РТК в группе требует совершенствования интеллектуальных информационно-управляющих систем.

При организации управления группами разнотипных РТК количество требующих решения теоретических задач и технологических проблем возрастает. Необходимо формирование единого замысла применения групп однотипных и разнотипных РТК. Фрагментарность и противоречивость нормативных документов в области стандартизации и унификации РТК обусловлена во многом отсутствием единой терминологии. Однозначно не определены общие подходы к организации управления и типовые состав и структура робототехнических средств и комплексов. Это существенно затрудняет объединение усилий научно-исследовательских организаций, предприятий и организаций военно-промышленного комплекса для формирования единого замысла создания и применения перспективных РТК. В соответствии с нормативными документами робототехническое средство (РТС) независимо от типа, назначения и особенностей исполнения включает в себя модуль движения и модуль целевой нагрузки. Для управления РТС необходимо одновременно решать две существенно различные, но взаимосвязанные задачи: управление движением и управление целевой нагрузкой. РТС, включающие в себя модули управления движением, модули управления нагрузкой и средства управления составляют РТК. В общем случае РТК может включать в себя одно или несколько РТС. В настоящее время задачи, решаемые модулями движения и модулями целевой нагрузки, становятся сравнимыми по своей сложности. Отсутствие универсальной методологии организации управления целевой нагрузкой групп однородных или разнородных РТС существенно ограничивает возможности практического применения специализированных РТК. Приоритетными становятся исследования в области интеграции методов, моделей и алгоритмов управления движением и целевой нагрузкой РТС в составе разнородной группы [5].

Независимо от применяемого режима управления РТК ВН в составе группы остается проблема обеспечения устойчивой связи между РТК в группе, а также между РТК и пультом дистанционного управления (или высокопроизводительной вычислительной облачной системой). Поэтому одной из проблем повышения эффективности РТК ВН является обеспечение скрытности и помехоустойчивости каналов связи в системе управления РТК ВН. Анализ состояния сетей передачи данных наземных РТК ВН показал, что существующее методическое обеспечение обоснования требований к разведзащищенности и помехоустойчивости разрабатываемых сетей передачи данных (СПД) РТК ВН требует совершенствования. В частности, для обоснования требований к СПД РТК ВН по радиоэлектронной защите требуется разработка на этапе эскизного проектирования создаваемого образца РТК частной модели радиоэлектронной борьбы и электромагнитной обстановки (РЭБ и ЭМО). Модель РЭБ и ЭМО включает в себя модель преднамеренных радиопомех и модель непреднамеренных радиопомех, в которых указываются тактико-технические характеристики радиоэлектронных средств создаваемого образца РТК и типовые условия его применения, виды потенциальных источников радиопомех, параметры радиопомех на входе радиоприемников в типовых условиях применения РТК [6].

В работе [7] рассматривается проблема формирования защищенных механизмов межмашинного обмена данными между агентами при их коммуникации за пределами территории контролируемой зоны. Формулируется задача на разработку концепции безопасного управления интеллектуальными роботами и коалициями роботов, создание соответствующих алгоритмов и протоколов защищенного взаимодействия в рамках создания единого подхода к управлению робототехническими комплексами. Децентрализованный способ управления и коммуникации между роботами в группе за пределами контролируемой зоны делают мультиагентную систему уязвимой к угрозам несанкционированного перехвата сообщений, нарушения целостности передаваемых сообщений, отказ в обслуживании, перехват запросов с их модификацией и последующим воспроизведением. Существующие методы и средства защиты требуют адаптации применительно к группам мобильных роботов.

Таким образом, в предметной области военных и технических наук проявляются следующие недостатки теории и практики управления РТК ВН:

- отсутствие обоснованного перечня типовых боевых задач, для решения которых могут применяться РТК и их группы;
- отсутствие обоснованных этапов (вариантов) применения РТК с учетом возможностей и действий традиционных сил и средств, а также возможного изменения обстановки;
- отсутствие систематизированных форм и способов боевого применения РТК ВН и их групп.

Низкая скрытность управления и разведзащищенность системы управления группой РТК обусловлены:

- отсутствием исследований, направленных на скрытие управляющих сигналов между группировками различных роботов в условиях невозможности устранения демаскирующих признаков роботов-разведчиков;
- отсутствием универсальных подходов к комплексному обеспечению безопасности мультиагентных робототехнических систем с сетевым управлением;
- существующие модели верификации агентов не могут быть применены в мобильных робототехнических группах с сетевым управлением;
- возможность контроля ограничена, особенно при решении трудно формализуемых задач (не известен универсальный научно-методический аппарат выявления скрытых информационных атак на исследуемые системы).

Авторами [7] исследованы подходы к решению задач маскирования управляющих сигналов агентов с помощью цифровых водяных знаков, встраиваемых в границы изображений.

Формирование критериальной базы оценки информационной безопасности систем управления РТК является важной научной задачей, для решения которой требуется разработка модели конфликта между системой управления и системой разведки и информационно-технических воздействий противника. Применительно к системе управления одиночным РТК с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) данная задача решается в работе [8]. Авторами рассмотрены частные показатели, характеризующие информационно-управляющую систему (ИУС) робототехнических комплексов с БПЛА, как систему подвижной пакетной радиосвязи специального назначения в усло-

виях информационно-технических воздействий (ИТВ). Предложена система основных тактико-технических показателей характеризующих безопасность функционирования ИУС РТК с БПЛА: скрытность, устойчивость, киберустойчивость. При этом ИУС РТК включает в себя систему информационного обмена и систему обработки и хранения информации.

В работе [9] представлена модель оценки показателей защищенности группы РТК с БЛА от радиотехнической разведки по параметрам командно-телеметрического радиоканала. Сделан вывод о существенном снижении дистанции разведки при увеличении диапазона перестройки частот командно-телеметрического канала более 5 МГц (дальность обнаружения около 10 км для диапазона 3,3–3,4 ГГц при мощности передатчика 0,5 Вт и усилении антенны 1,5 дБ).

Таким образом, большая дальность обнаружения радиоизлучения БПЛА не позволяет обеспечить скрытность управления и внезапность действий войск с применением РТК. В связи с этим требуется разработка оперативно-тактических моделей применения РТК с БПЛА при комбинированных (смешанных) режимах управления на различных этапах выполнения операции. Возможно, варианты с предварительным развертыванием обеспечивающей информационной инфраструктуры позволят существенно повысить разведзащищенность группы РТК. Также требуется повышение автономности РТК и интеллектуальности ИУС для реализации супервизорного режима управления группой РТК при ограниченных коммуникациях в условиях разведки и ИТВ противника.

Методы обеспечения информационной безопасности системы управления РТК ВН

Особенностью РТК ВН являются конфликтные условия их применения на территории, которая находится за пределами контролируемой зоны, или в экстремальных условиях. Группы РТК в этом случае должны быть защищены от обнаружения, перехвата и ввода ложной информации, а также от блокирования информации в СУ РТК. Кроме того, необходимо учитывать такие интеллектуальные способы воздействия противника на СУ РТК, как перехват управления, подмена РТК или базового пункта управления, а также внедрение РТК-диверсанта, саботирующего выполняемые задачи группой РТК. Научный подход предполагает систематизацию защищаемых информационных ресурсов, построение модели угроз безопасности информации, формирование требований к системе защиты. Основные особенности условий

функционирования РТК военного и специального назначения заключаются в высокой степени неопределенности и динамичности ситуаций, в которых решаются задачи с применением РТК ВН (СН). Проблема защиты информационных ресурсов РТК ВН заключается в необходимости обеспечить оптимальные условия управления войсками при выполнении задач с применением РТК в условиях неопределенности и высокой динамичности внешних воздействующих факторов, а также структурно-функциональной динамичности группы РТК ВН.

Вопросы обеспечения защиты информационных ресурсов в системах управления РТК рассматриваются многими авторами, однако полученные результаты исследований не позволяют реализовать системный подход для решения этой проблемы.

Наиболее системно вопросы информационной безопасности групповых мобильных РТК рассмотрены в работах Виксина И.И., Зикратова И.А., Зикратовой Т.В., Винокурова А.В., Бардаева Э.А.

Особенностями условий функционирования групп мобильных РТК являются:

- высокая динамика внешних воздействующих факторов;
- высокая степень неопределенности исходных данных для управления, обусловленная неполнотой и противоречивостью знаний агентов о состоянии внешней среды и других агентов группы (недостаточные информационные ресурсы системы управления);
- широкая вариативность путей решения задач группы, структуры группы, распределения ролей в группе;
- сложность обеспечения надежной коммуникации, распределенность группы в пространстве.

Специфические уязвимости мобильных групп РТК обуславливают необходимость адаптации известного научно-методического аппарата и средств обеспечения информационной безопасности к условиям функционирования РТК. В качестве основных угроз, связанных с особенностями РТК, рассмотрены:

- атаки на каналы связи;
- затруднение идентификации и аутентификации роботов в системе;
- физическое внедрение «инородных» роботов, которые могут перехватывать управление другими роботами и создавать условия для их перепрограммирования злоумышленником. В результате численного моделирования атак на информационные ресурсы системы

управления группы однотипных РТК, реализующей муравьиный алгоритм самоорганизации, авторами [10] подтверждены выводы по результатам аналогичных исследований о необходимости введения механизмов информационной безопасности для идентификации и аутентификации членов группы (роя), а также для обнаружения вторжений роботов-диверсантов.

Для реализации функций информационной безопасности РТК с роевым интеллектом предложено:

- включение в состав роя роботов-полицейских, выявляющих аномалии, вторжения, обеспечивающих идентификацию и аутентификацию агентов (в том числе за пределами роя), контроль разграничения доступа и противодействие роботам-диверсантам;
- обеспечение идентификации и аутентификации агентов и их сенсорных систем;
- обеспечение защиты от компрометации криптоключей по побочным каналам и при возможном физическом захвате их за пределами контролируемой зоны;
- обеспечение возможности обнаружения факта проведения атаки при действиях типа «ложный путь» по выявлению циклических маршрутов у отдельных групп роботов.

Основными особенностями структуры и поведения группы РТК, которые определяют ее потенциальные уязвимости, являются:

- недостаточная определенность текущего состояния, местоположения каждого устройства;
- относительно низкая интенсивность обмена информацией с координирующим центром;
- изначально заложенная автономность действий устройств;
- возможность действий устройств за пределами контролируемой зоны;
- несовершенство (отсутствие) механизмов идентификации и аутентификации устройств, приводящее к значительным задержкам при обнаружении вторжений в группу;
- ограниченные возможности по обнаружению аномального поведения элементов РТК.

Потенциальными угрозами для группы РТК являются:

- сбор информации (наблюдение и перехват передаваемых сообщений);
- несанкционированный доступ (подбор паролей доступа, обход алгоритмов аутентификации);
- отказ в обслуживании.

Последствиями указанных угроз могут быть:

- нарушение взаимодействия между РТК в группе;
- подмена РТК в группе или перехват управления агентами;
- дезорганизация группы агентов в РТК.

В работе [10] решается задача исследования скрытых деструктивных информационных воздействий, которая не решена применительно к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА). Проведенный анализ показал уязвимость канала управления группой БПЛА для актуальных угроз безопасности информации. Большинство известных научных работ и полученных результатов исследований в данной предметной области неприменимы для групп БПЛА и рассчитаны на централизованную стратегию группового управления.

Авторами разработана теоретико-многожественная модель управления роем БПЛА, эксперименты с которой позволяют выявлять и анализировать уязвимости в информационном взаимодействии элементов группы БПЛА, в том числе к скрытым информационным воздействиям. При этом авторы разделяют информационные взаимодействия (ИВ) в системе управления роем БПЛА на внутренние и внешние.

Во внутреннем ИВ участвуют следующие элементы: сенсоры и датчики, процессорное устройство, моторы и другие устройства, обеспечивающие выполнение функциональных задач агента (робота или БПЛА). При этом передается информация о местоположении, параметрах движения, препятствиях, техническом состоянии агента, команды для регулировки положения в пространстве.

Во внешнем ИВ участвуют агенты (БПЛА) как неделимые объекты. Информация, передаваемая между агентами, включает информацию о местоположении других агентов, местоположении препятствий в среде, техническом состоянии агентов.

Наиболее уязвимыми являются устройства регулирования положения в пространстве и дополнительные устройства, так как они являются последними элементами информационной цепи и получают наиболее искаженную информацию. Авторами проведен эксперимент, который показал, что элементы системы управления БПЛА в процессе внутреннего ИВ не имеют возможности идентифицировать нарушение целостности информации и оценить его как скрытое деструктивное информационное воздействие.

Вопросы защиты системы управления РТК от несанкционированного доступа явля-

ются одной из наименее исследованных областей групповой робототехники. Для обеспечения устойчивого управления группой РТК необходимо использовать функции идентификации и аутентификации членов группы, а также системы обнаружения несанкционированного доступа к управлению отдельными РТК. Преимущества технологии блокчейн позволяют обеспечить надежную идентификацию участников группы и предотвратить несанкционированный доступ к системе управления РТК. Также блокчейн-технология может решить проблему масштабируемости при распределенном коллективном принятии решений и упростить подготовку новых участников группы для присоединения к уже функционирующей группе РТК. Основным недостатком, обуславливающим проблему применения технологии блокчейн, является: латентность (большая задержка между отправкой информации о транзакции и моментом ее подтверждения в среднем 10 минут). Чем дольше группа работает, тем больше становится цепочка, для хранения которой требуется значительный ресурс памяти РТК. Пропускная способность блокчейн-систем ограничена несколькими транзакциями в секунду, а для относительно большой группы РТК этого недостаточно [11].

Таким образом, применяемые в настоящее время подходы к защите информационных ресурсов распределенных в пространстве объектов на основе анализа уязвимостей, угроз, контроля статистических параметров для выявления аномалий, контроля целостности информационных объектов не позволяют управлять процессом защиты в режиме реального времени. Требуется разработка новых методов и технологий для сокращения цикла контроля и гарантированного выполнения функций безопасности в распределенных динамических системах в режиме времени, близком к реальному.

Информационная модель взаимодействия конфликтующих систем

В ИУС РТК информационные ресурсы представлены преимущественно в электрическом виде.

В работе [12] авторами предложена классификация информационных ресурсов по признакам действий, совершаемых над информационными ресурсами:

- форма представления;
- метод формирования;
- метод проведения поиска;
- метод обработки;
- метод хранения;
- варианты распространения.

Авторами рассматриваются следующие методы формирования информационных ресурсов:

1. Исследование и формализация зависимостей, характеризующих реальные объекты, процессы или явления (применительно к природным объектам);
2. Измерение характеристик и их обработки с заданной целью (применительно к искусственным объектам);
3. Обработка массивов разнородных первичных ранее полученных данных с другими целями (выявление новых зависимостей).

В качестве специфических свойств информационных ресурсов выделяются:

- нерасходуемость;
- трансформируемость;
- полиморфичность;
- распространяемость;
- комплексированность;
- концентрируемость.

Для реализации системного подхода требуется формализовать свойства защищаемых информационных ресурсов в соответствии с тремя обобщенными категориями свойств информационно-управляющей системы:

- структурные (сигналы, машинные носители, вычислительные и сетевые (коммуникационные) ресурсы, память);
- информационные (оперативная и служебная информация, математические модели, информационно-алгоритмическое обеспечение);
- функциональные (цель, задачи, процессы, действия).

Концептуально проблема реализации комплексного подхода к защите ИР СУ РТК имеет два основных аспекта, обусловленных объективными противоречиями при реализации требований к процессу управления и к системе управления:

- а) обеспечение разведзащищенности ИУС РТК при заданных требованиях по производительности и управляемости;
- б) обеспечение имитозащищенности ИУС РТК при заданных ограничениях по ресурсопотреблению.

Процесс принятия решения — ключевой процесс в общей структуре управления, который представляет собой процесс преобразования информации состояния в количественные (качественные) составляющие информации управления (командную информацию) для достижения заданной цели.

Процесс управления в СУВН имеет три

уровня общности:

1. Цикл управления;
2. Цикл выработки решения;
3. Цикл выработки вариантов и выбора способа решения.

Решения могут быть трех типов:

1. Информационные;
2. Организационные;
3. Оперативные.

Модель процесса принятия решения должна учитывать неопределенности вследствие отсутствия необходимой информации о возмущающих воздействиях (в том числе противника); практической невозможности выявления полного набора предпочтений лиц, принимающих решение; несовпадение предпочтений членов группы при групповом принятии решения. Неопределенности учитываются методами теории игр или нечетких множеств.

Информированность субъекта, принимающего решение, играет ключевую роль в решении и характеризуется тремя уровнями: а) детерминированный (при наличии полной и достоверной информации о возмущающих факторах); б) случай неопределенности (отсутствие информации о воздействующих факторах, кроме множества возможных состояний среды или стратегий противника); в) случай риска (имеется частичная информация о воздействующих факторах в виде некоторого распределения вероятности состояний среды или стратегий противника).

В условиях преднамеренного информационно-технического воздействия на РТК необходимо рассматривать взаимоотношения системы ИТВ и ИУС РТК в форме информационного конфликта. С позиций концепции информационного противоборства сущность информационного конфликта заключается в создании средствами ИТВ угроз нарушения безопасности информации в ИУС РТК и реагировании их на угрозы. Для противодействия ИТВ в СУ РТК организуется целенаправленная деятельность с применением аппаратно-программных средств защиты информации. Исход информационного конфликта в условиях ограниченных транспортно-вычислительных и интеллектуальных ресурсов системы ИТВ и ИУС РТК существенно зависит от качества управления ими. В процессе управления для обоснования стратегий, форм, методов и способов целенаправленного поведения при информационном конфликте необходимо выявить закономерности поведения систем ИТВ и ИУС РТК.

Основные трудности построения и управления подсистемой защиты обусловлены наличием

в системе ИТВ интеллектуальной компоненты, позволяющей адаптировать и корректировать цели, формы, методы и способы воздействия.

Основной целевой функцией управления безопасностью сети связи в условиях информационного конфликта является минимизация времени обнаружения деструктивного фактора и достижение требуемого качества управления ресурсами, выделяемыми для его нейтрализации в течение времени информационного конфликта.

Для реализации целевой функции управления безопасностью сети связи требуется разработка модели, формализующей закономерные взаимосвязи процессов воздействия ИТВ и управления сетью связи по критерию минимизации времени обнаружения и обработки инцидентов, а также обоснования требований к циклу управления ресурсами для защиты от ИТВ. Модель должна включать в себя модель системы (процесса) защиты (как объекта контроля), модель ИТВ, модель системы (процесса) контроля [13].

Рассмотрим основные свойства информации и информационного взаимодействия, существенные для разработки модели информационного взаимодействия конфликтующих систем с позиций теоретической информатики [14].

Ценность информации — материальная или обобщенная полезность информационного объекта.

Обобщенная ценность информации — асимметричная характеристика, которая определяется приемником, потребителем показателями экономии затрат, материалов, энергии, времени и других ресурсов.

Информативность сообщения или качество информации является асимметричной характеристикой, ее оценивает потребитель информации при решении своих задач, она определяется новизной поступившей информации для субъекта и ее адекватностью, достоверностью, характеризующей свойства источника информации, который косвенно оценивает информационные потребности в виде ожидаемых показателей информативности: полнота, объективность, своевременность полученных данных [14].

Информационная связь между объектами и субъектами — опосредованная зависимость между образами (моделями явлений), представляющими знания субъекта об этих явлениях.

Особенность взаимодействия информационных систем заключается в том, что при передаче субъектом информации он сам ее не теряет, за исключением материального носителя.

Другой особенностью информационной связи является гибкость составляющих ин-

формацию метазнаков — понятий, легко допускающих изменение и пополнение новыми смыслами в языковой системе, т. е. они способны быть заменителями заменителей при кодировании-декодировании, абстрагировании-конкретизации, обобщении-ограничении, идеализации проблемных ситуаций.

Модель взаимодействия информационных систем можно представить в виде трех уровней:

1. Сенсорный (физический);
2. Синтаксический (знаковый, символьный, понятийный);
3. Семантический (модельный, виртуальный).

Информационная связь между субъектами взаимодействия осуществляется передачей по каналу связи сообщений — знаковых структур.

Модель информационного обмена в СУ РТК включает в себя (рис.1):

- языковые субъекты: $C1, C2$;
- языки понимания (внутренние): L_1, L_2 ;
- языки общения (внешние): L_{12}, L_{21} ;
- языковая среда: первого субъекта — L_1, L_{12} ; второго субъекта — L_2, L_{21} ;
- процессоры языковой среды: A, B, E, G, F_{m12} ;
- составные каналы связи: $\{(A, B, E, G)_1, F_{m12}, (A, B, E, G)_2\}_{1,2,\dots,N}$;

N, M — количество простых каналов связи в составных прямом (от $C1$ к $C2$) и обратном (от $C2$ к $C1$) каналах связи;

I — имя понятия, знак;

$\hat{D}$ — прямое семантическое значение знака;

K — косвенное семантическое значение знака;

A — ссылочное семантическое значение знака;

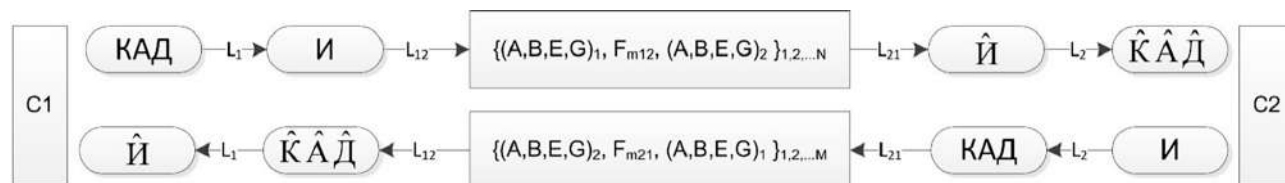


Рис.1 Обобщенная модель информационного обмена в системе управления РТК

Первый субъект ($C1$) синтезирует семантику KAD и передает ее второму субъекту ($C2$) по каналу связи с материальным процессором F_{m12} .

Второй субъект ($C2$) получает точную информацию I или искаженную $\hat{I}$, пытается исправить ошибки, распознать и декодировать семантику сообщения, встраивает в смысловые структуры $K\hat{A}\hat{D}$, в свою понятийную сеть.

Идеальная передача семантики сообщения $K\hat{A}\hat{D}$ произойдет при отсутствии ошибок кодирования $KAD \rightarrow I$, декодирования $\hat{I} \rightarrow K\hat{A}\hat{D}$, отсутствии синтаксических помех в канале связи $\hat{I} = I$, взаимно однозначном соответствии языков понимания $L_1 = L_2$ и общения $L_{12} = L_{21}$.

В общем случае взаимодействия информационных объектов (систем) связь не является симметричной. Информационный обмен дополнительно включает обратную связь с другим (или тем же) материальным процессором языковой среды (F_{m12} и F_{m21}).

Дефицит информационных ресурсов при выполнении регламентов в системе управления, возникающий в случае изменения обстановки и приводящий к потере управления, требует в теоретическом плане разработать модель синтеза

информационных ресурсов в СУ РТК ВН.

СУ РТК ВН должна обеспечивать функционирование РТК ВН, при этом рациональным образом определять и устранять априорную неопределенность относительно внешних и внутренних деструктивных воздействий путем устранения дефицита информационных ресурсов и разрушения процесса функционирования ИИУС на основе формирования условия существования процесса функционирования РТК ВН.

Внутренние конфликты использования информационных ресурсов устраняются обеспечением интероперабельности взаимодействующих языковых субъектов [15] на трех уровнях в соответствии с эталонной моделью интероперабельности:

- организационном (согласование целей и задач взаимодействующих информационных систем, отличающихся внутренней структурой и процессами);
- семантическом (согласование смыслов сообщений и протоколов, алгоритмов информационных процессов);
- техническом (согласование форматов дан-

ных, сообщений и интерфейсов взаимодействующих подсистем).

Внешние информационные конфликты могут быть формализованы с помощью модели опосредованного информационного взаимодействия конфликтующих языковых субъектов, которые реализуют свои концепции управления относительно одного и того же объекта управления, которым является информационно-управляющая система РТК.

В то же время ИУС РТК сама является языковым субъектом, посредством которого происходит информационное взаимодействие системы управления РТК и системы управления технической разведкой и ИТВ противника.

Взаимодействующие языковые субъекты в конфликтных условиях (рис. 2):

C1 — интеллектуальная информационно-управляющая система РТК ВН (ИИУС);

C2 — система управления и контроля информационной безопасности РТК ВН (СУ и КИБ);

C3 — система технической разведки и информационно-технических воздействий противника на РТК ВН (СТР и ИТВ);

V и W — количество простых каналов в составных прямом и обратном каналах связи между СУ РТК ВН и СУ ТСР и ИТВ противника.

В известных публикациях недостаточно раскрыты процессы на первом уровне (сенсорном) информационного взаимодействия.

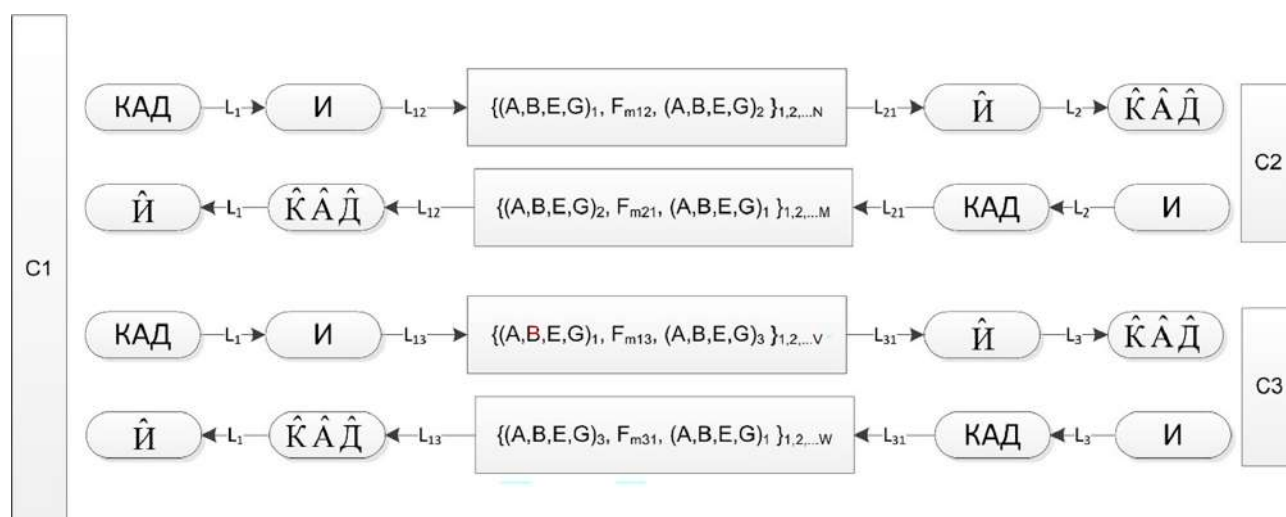


Рис.2. Модель опосредованного информационного взаимодействия конфликтующих языковых субъектов

Квантовая теория информации дает основания предполагать, что процесс измерения параметров материальных объектов с помощью сенсоров представляет собой передачу информации, точнее запрос на передачу информации от измеряемого объекта. На передачу информации затрачивается энергия источника (измеряемого объекта). Поэтому, если запас энергии (потенциал источника) измеряемого объекта минимальный (квант), то повторно измерить его свойство не возможно. Носитель информации исчезает (расходуется) в процессе передачи информации сенсору. В связи с этим можно предположить, что измерение будет успешным, если чувствительность сенсора (приемника), т. е. необходимая для информационной связи энергия, не превосходит

энергетического потенциала источника (измеряемого объекта): $E_{изм} \leq E_0$. Т. е. при $E_{изм} = E_0$ повторное измерение не возможно. Результаты измерений характеризуются мерами точности, полноты, адекватности или мерами ошибки, неопределенности, погрешности $\Delta(x^*, x)$ между идеальной x и реальной x^* формами представления объекта. При идеализации реальных значений ($\Delta(x^*, x) = 0$) достаточно одной формы представления информационного объекта ($x^* = x$). При отсутствии идеального источника информации и идеального объекта x (для предельно точных измерений, у которых нет эталона сравнения), мера ошибки заменяется мерой вариативности, воспроизводимости информационного объекта x^* , который выступает в качестве собственного эталона в однород-

ном классе информационных ситуаций.

Сложные динамические системы, в том числе организационно-технические и киберфизические, содержат множество случайных взаимосвязей между подсистемами. Известен подход для повышения адекватности и точности измерений, включающий использование информационно-измерительного кванта в качестве меры неопределенности динамического состояния сложной системы [16]. Информационно-измерительный квант — представляет собой минимальное формирование, отражающее суть вероятностных физических процессов. Для построения измерительного кванта используется совместная оценка текущего значения разности и ее нормированного значения, связанной с аддитивной и мультипликативной изменчивостью объекта исследования. Формально-логическое построение информационно-измерительного кванта базируется на вероятностном представлении многофакторного и многоуровневого пространства. Мера информационно-измерительного кванта обладает свойствами самоподобия и дробной размерностью при условии конечного количества реализаций измеряемых параметров сложной системы [16].

Данный подход может использоваться при устранении конфликтов дефицита информационных ресурсов для распознавания ситуаций (выявления аномалий в работе системы), а также для оценки уровня доверия к информационным объектам (аутентификации) при внутренних информационных взаимодействиях.

Заключение

Таким образом, существование проблемы обеспечения информационной безопасности системы управления робототехническими комплексами проявляется через следующие симптомы:

- низкая эффективность боевого применения РТК;
- сложность управления РТК в боевых условиях в зоне огневого и радиоэлектронного поражения противником;
- недостаточная разведзащищенность и устойчивость информационно-управляющих систем РТК;
- недостаток унифицированных специализированных РТК ВН вследствие недостаточной оперативности в прогнозировании потребностей войск и отсутствии серийно выпускаемых типовых образцов;
- отсутствие массовости применения РТК в ходе боевых действий, невозможность получения системного эффекта от группового применения РТК, вследствие недостаточности разработки сценариев и общей тактики их боевого применения;
- совершенствование систем управления РТК и средств противодействия РТК происходит стихийно без явной тенденции к систематизации методов и средств;
- существующие методы оценки защищенности информационно-управляющих систем РТК от разведки и ИТВ противника не имеют общей теоретической основы и не позволяют получить обобщенные оценки для принятия оперативных решений по управлению группами РТК;
- существующие методы и технологии категорирования, защиты и контроля защищенности информации в системах связи и управления не позволяют своевременно контролировать увеличивающиеся многократно объемы информационных ресурсов в соответствии со степенью их важности (ценности);
- отсутствует единое понимание информационных ресурсов РТК, нет общей модели формирования и защиты информационных ресурсов РТК ВН.

Основными направлениями решения обозначенной проблемы являются:

1. Разработка подходов и методов к формированию, идентификации, классификации и категорированию по степени важности защищаемых информационных ресурсов системы управления РТК ВН;
2. Разработка и исследование моделей конфликтных условий функционирования системы управления РТК ВН;
3. Разработка моделей и методов обоснования требований защищенности информационных ресурсов системы управления РТК ВН;
4. Разработка моделей и методов защиты информационных ресурсов системы управления РТК ВН с учетом ее высокой структурной, информационной и функциональной динамики.

В рамках исследований в обозначенных направлениях проведен анализ базиса теоретической информатики и концепции информационно-измерительного кванта применительно к защите информационных ресурсов системы управления РТК ВН.

Литература

1. Костарев С.В., Карганов В.В., Липатников В.А. Технологии защиты информации в условиях кибернетического противоборства: Научн. монография / Под общ. ред. В.А. Липатникова. – СПб.: ВАС, 2020. – 716 с.: ил.
2. Методы радиоконтроля. Теория и практика: Монография / В.А. Липатников, О.В. Царик – СПб.: ГНИИ «НАЦРАЗВИТИЕ», 2018. – 608 с. – (Серия: Система технической защиты информации в Российской Федерации)
3. Пшихопов В. Х., Гонтарь Д. Н., Мартьянов О. В. Концептуальные подходы к формированию сценариев боевого применения групп робототехнических комплексов // Системы управления, связи и безопасности. 2022. № 3. С. 138–182. DOI: 10.24412/2410-9916-2022-3-138-182
4. Макаренко С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам. Монография. – СПб.: Научные технологии, 2020. – 204 с.
5. Воробьев А.А., Сергеев В.В. Проблемы формирования облика специализированных робототехнических комплексов // Робототехника и техническая кибернетика. 9 (4). 2021. С.312-320.
6. Горский А.С., Демьянов В.В., Жуков А.О. // Проблемные вопросы создания наземных робототехнических комплексов. Робототехника и техническая кибернетика. 10 (2). 2022. С. 154-160.
7. Проблемы маскирования управляющих сигналов агентов мобильных робототехнических групп, Шумская О.О., Исхакова А.О. // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019. Москва 17-20 июня 2019 г.
8. Пшеничный Ф.И., Королев И.Д., Иванов С.В. Оценка показателей информационно-управляющей системы комплексов с беспилотными летательными аппаратами военного назначения в условиях информационно-технических воздействий // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2022. Т.14. №1. С. 28–35. DOI: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-28-35
9. Пшеничный Ф.И., Королев И.Д. Модель оценки разведзащищенности группы беспилотных летательных аппаратов военного назначения от комплексов радио- и радиотехнической разведки // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». № 4. 2023. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8349.
10. Марненков Е.Д., Виксин И.И., Жукова Ю.А., Усова М.А. Анализ защищенности информационного взаимодействия группы беспилотных летательных аппаратов / Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18, №5. С. 817-825.
11. Иванов Д.Я. Перспективы применения блокчейн-технологии в групповой робототехнике // Робототехника и техническая кибернетика. 2019. № 7(4). С. 300–305.
12. Стародубцев Ю.И. Экономика цифровых информационных услуг: монография / Ю.И. Стародубцев, М.А. Давлятова; под общей редакцией заслуженного деятеля науки РФ профессора Ю.И. Стародубцева. – СПб.:ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 452 с.
13. Жидько Е.А., Разиньков С.Н. Модель подсистемы безопасности и защиты информации системы связи и управления критически важного объекта // Системы управления, связи и безопасности, 2018., №1 С. 122–135.
УДК: 621.96:681.327.8
14. Зверев Г.Н. Теоретическая информатика и ее основания: В 2т. – Т.1. – М.: Физматлит, 2007. – 592 с. Т. 2. – М.: Физматлит, 2009. – 576 с.
15. Макаренко С.И. Интероперабельность человеко-машинных интерфейсов. Монография. – СПб.: Научные технологии, 2023. – 185 с.
16. Безбородова О.Е. Построение математической модели контролируемого объекта на основе анализа энтропии распределения информационно-измерительного кванта / О.Е. Безбородова, О.Н. Бондин, В.Г. Полосин, А.Г. Убиенных // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2019. - №2. – С. 76-84. – DOI: 10.21685/2307-5538-2019-2-9

THE PROBLEM OF ENSURING INFORMATION SECURITY OF CONTROL SYSTEMS FOR ROBOTIC COMPLEXES IN THE CONDITIONS OF THEIR COMBAT USE

Starodubtsev Yu.I.¹, Khudainazarov Yu.K.², Ermolaev V.E.³

Keywords: concept of combat use, operational and tactical models, information management system, protected information resources, information model, conflicting systems, information and measurement quantum.

Annotation

The article examines the problem of ensuring information security of the control system of robotic complexes (RC). **Based on the generalization** of the experience of using RC during a special military operation, the main disadvantages and the trend in the development of military-purpose RC control systems (MPRC) have been identified.

The results of the analysis of the main properties and requirements for the control systems of the RC as control systems for military purposes are presented. The main problems of increasing the efficiency of the control systems of the MPRC have been identified.

The specific threats to the information security of the MPRC and shortcomings in the theory and practice of ensuring the information security of the MPRC management system are presented, the main symptoms of the problem are identified. The currently known theoretical models do not reflect the essential features of the formation and protection of information resources of the MPRC management system, which does not allow ensuring the adequacy of the protection system.

The novelty lies in the formalization of information interaction between objects and subjects of the MPRC management system in the basis of theoretical computer science. The information model of interaction in conflict conditions can be the basis for developing a model for the formation and protection of information resources of the MPRC management system, and the concept of an information and measurement quantum can be used to eliminate the shortage of information resources and increase confidence in intelligent information management systems.

References

1. Kostarev S.V., Karganov V.V., Lipatnikov V.A. Tehnologii zashhity informacii v uslovijah kiberneticheskogo protivoborstva: Nauchn. Monografija / Pod obshh. red. V.A. Lipatnikova. – SPb.: VAS, 2020. – 716 s.: il.
2. Metody radiokontrolja. Teorija i praktika: Monografija / V.A. Lipatnikov, O.V. Carik – SPb.: GNII «NACRAZVITIE», 2018. – 608 s. – (Serija: Sistema tehničeskoj zashhity informacii v Rossijskoj Federacii)
3. Pshihopov V. H., Gontar' D. N., Mart'janov O. V. Konceptual'nye podhody k formirovaniju scenarijev boevogo primeneniya grupp robototekhnicheskikh kompleksov // Sistemy upravlenija, svjazi i bezopasnosti. 2022. № 3. S. 138–182. DOI: 10.24412/2410-9916-2022-3-138-182
4. Makarenko S. I. Protivodejstvie bespilotnym letatel'nym apparatam. Monografija. – SPb.: Naukoemkie tehnologii, 2020. – 204 s.
5. Vorob'ev A.A., Sergeev V.V. Problemy formirovanija oblika specializirovannyh robototekhnicheskikh kompleksov // Robototekhnika i tehničeskaja kibernetika. 9 (4). 2021. S. 312-320.
6. Gorskij A.S., Dem'janov V.V., Zhukov A.O. // Problemnye voprosy sozdaniya nazemnyh robototekhnicheskikh kompleksov. Robototekhnika i tehničeskaja kibernetika. 10 (2). 2022. S. 154-160.
7. Problemy maskirovanija upravljajushhih signalov agentov mobil'nyh robototekhnicheskikh grupp, Shumskaja O.O., Ishakova A.O. // XIII Vserossijskoe soveshhanie po problemam upravlenija VSPU-2019 Moskva 17-20 ijunja 2019 g.
8. Pshenichnyj F.I., Korolev I.D., Ivanov S.V. Ocenka pokazatelej informacionno-upravljajushhej sistemy kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami voennogo naznachenija v uslovijah informacionno-tehnicheskikh vozdejstvij // Naukoemkie tehnologii v kosmicheskikh issledovanijah Zemli. 2022. T.14. №1. S. 28–35. DOI: 10.36724/2409-5419-2022-14-1-28-35

¹Yuri I. Starodubtsev, Dr.Sc., Professor, Professor of the Department of Security of Information and Communication Systems for Special Purposes at the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E mail: starodub@mail.ru

²Yuri K. Khudainazarov, Ph.D., Doctoral student of the Department of Security of Information and Communication Systems for Special Purposes of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E-mail: yu-78@ya.ru

³Vladimir E. Ermolaev, Adjunct of the Department of Security of Special Purpose Information and Communication Systems, Marshal of the Soviet Union Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: VErmol@ya.ru

9. Pshenichnyj F.I., Korolev I.D. Model' ocenki razvedzashhishhennosti gruppy bespilotnyh letatel'nyh apparatov voennogo naznachenija ot kompleksov radio- i radiotekhnicheskoy razvedki // *Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Inzhenernyj vestnik Dona»*. №4. 2023. vdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8349.
10. Marnenkov E.D., Viksnin I.I., Zhukova Ju.A., Usova M.A. Analiz zashhishhennosti informacionnogo vzaimodejstvija gruppy bespilotnyh letatel'nyh apparatov / *Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki*. 2018. T. 18, №5. S. 817-825.
11. Ivanov D.Ja. Perspektivy primenenija blokchejn-tehnologii v gruppovoj robototekhnike // *Robototekhnika i tehničeskaja kibernetika*. 2019. № 7(4). S. 300–305.
12. Starodubcev Ju.I. Jekonomika cifrovych informacionnyh uslug: monografija / Ju.I. Starodubcev, M.A. Davljatova; pod obshhej redakciej zaslužennogo dejatelja nauki RF professora Ju.I. Starodubceva. – SPb.:POLITEH-PRESS, 2019. – 452 s.
13. 1Zhid'ko E.A., Razin'kov S.N. Model' podsistemy bezopasnosti i zashhity informacii sistemy svjazi i upravlenija kritičeskogo vazhnogo ob#ekta // *Sistemy upravlenija, svjazi i bezopasnosti* №1, 2018. S. 122–135. UDK: 621.96:681.327.8
14. Zverev G.N. Teoreticheskaja informatika i ee osnovanija: V 2t. – T.1. – M.: Fizmatlit, 2007. – 592 s. T. 2. – M.: Fizmatlit, 2009. – 576 s.
15. Makarenko S.I. Interoperabel'nost' cheloveko-mashinnyh interfejsov. Monografija. – SPb.: Naukoemkie tehnologii, 2023. – 185 s.
16. Bezborodova O.E. Postroenie matematicheskoy modeli kontroliruemogo ob#ekta na osnove analiza jentropii raspredelenija informacionno-izmeritel'nogo kvanta / O.E. Bezborodova, O.N. Bodin, V.G. Polosin, A.G. Ubiennyh // *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol'*. – 2019. – № 2. – S. 76-84. – DOI: 10.21685/2307-5538-2019-2-9



АНАЛИЗ СПУТНИКОВОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ США «НАВСТАР» КАК ОБЪЕКТА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

Ануфриев А.А.¹, Чиркин П.М.², Шипунов В.А.³

DOI:10.21681/3034-4050-2025-1-20-33

Ключевые слова: орбитальная группировка, искусственный спутник земли, вооруженный конфликт, беспилотный летательный аппарат, корректируемый боеприпас, боевая задача, уязвимость, приемник навигационного сигнала, аппаратура потребителей, инерциальная навигационная система.

Аннотация

Цель работы: заключается в разработке новых подходов к радиоподавлению приемников сигналов спутниковой радионавигационной системы «Навстар» в связи с проводимыми работами по повышению ее помехоустойчивости и совершенствованию организационно-технических решений ее применения.

Метод исследования: на основе анализа решений, обеспечивающих помехозащищенность спутниковой радионавигационной системы «Навстар», разработать предложения по подавлению приемников радионавигационных сигналов для защиты от средств поражения противника войск, вооружения, военной и специальной техники.

Результаты: определены основные особенности решения задачи радиоподавления аппаратуры потребителей СРНС в условиях трансформации и милитаризации их использования. Предложены приоритетные направления реализации организационно-технических принципов построения и управления распределенной системой подавления навигационного поля для устойчивого подавления приемников на протяжении длительного времени в интересах территориальной защиты от средств поражения противника войск, вооружения, военной и специальной техники.

Научная новизна: заключается в получении численных показателей условий радиоподавления аппаратуры потребителей СРНС «Навстар» при ее интеграции с инерциальными навигационными модулями, наземными и космическими дополнениями.

Введение

Одной из главных военно-технических особенностей современных вооруженных конфликтов стало массовое применение беспилотных летательных аппаратов (далее — БПЛА), а также так называемых барражирующих (корректируемых) боеприпасов. Их использование дает существенные преимущества при выполнении тех или иных боевых задач. Сегодня такие средства применяются там, где раньше было даже трудно представить.

У БПЛА и корректируемых боеприпасов существуют две основные уязвимости. Это приемник навигационного сигнала, обычно спутниковой радионавигационной системы (далее — СРНС) и линии передачи команд управления. Их радиоподавление средствами радиоэлектронной борьбы (далее — РЭБ) затрудняет полноценное выполнение задач. Кроме этого, СРНС позволяет

синхронизировать работу систем связи, которые используют ППРЧ и пакетный принцип передачи данных.

Как показывает практика успех военных действий в значительной степени определяется устойчивостью работы системы навигационно-временного обеспечения применения вооружения и военной техники.

Постановка задачи

В настоящее время существуют следующие глобальные СРНС: «Навстар» (GPS) — США, «Галилео» — Евросоюз, «Бейдоу» — КНР и ГЛОНАСС — Российская Федерация.

Самым распространенным средством координатно-временного навигационного обеспечения (определения пространственных координат и времени) в глобальном масштабе военных и гражданских пользователей, систем

¹Ануфриев Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры радиоэлектронной борьбы Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: irbis453@mail.ru

²Чиркин Павел Михайлович, преподаватель кафедры радиоэлектронной борьбы Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: 67-ccsr@mail.ru

³Шипунов Владимир Алексеевич, кандидат военных наук, доцент, профессор кафедры радиоэлектронной борьбы Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: colonel53@mail.ru

управления оружием, в т. ч. высокоточного, а также других средств наземного, воздушного, морского и космического базирования является СРНС министерства обороны США «Навстар» (NAVSTAR — NAVigation System using Timing And Ranging, имеет также наименование GPS — Global Positioning System). Исходя из этого, в данной работе GPS рассматривается как объект РЭБ.

В данной системе применен пассивный дальномерно-доплеровский способ навигационных измерений с хранением начала отсчета.

Для определения местоположения потребителя используется так называемый беззапросный метод. Сущность метода состоит в том, что все спутники излучают синхронизированные сигналы, а в аппаратуре потребителя измеряется время прихода сигнала от каждого спутника в локальной группировке относительно начала отсчета, определяемого опорным напряжением в этой аппаратуре.

В состав СРНС «Навстар» входят:

- ❖ орбитальная группировка навигационных спутников (космический сегмент);
- ❖ средства управления, контроля и закладки данных (наземный комплекс);
- ❖ носимые и установленные на платформах различного базирования навигационные приемники (аппаратура потребителей) [1].

Система обеспечивает для потребителей стандартный (SPS — Standard Positioning Service) и точный (PPS — Precise Positioning Service) режимы определения местоположения, которые отличаются между собой структурой используемых навигационных сигналов, а также дополнительный (дифференциальный) режим. В основе функционирования лежит использование единого системного времени.

Точность определения пространственного положения (без применения дифференциального режима) в настоящее время составляет 1–3 и 3–6 м в точном и стандартном режимах соответственно. В результате проводимой модернизации космического элемента, наземных контрольно-измерительных средств и аппаратуры потребителей этот показатель будет составлять 0,5–1 и 1–3 м, а к 2030 году — 0,15–0,5 и 0,6–1 м [1, 2].

В составе орбитальной группировки СРНС используются ИСЗ второго поколения «Навстар-2» четырех модификаций, ИСЗ третьего поколения «Навстар-3» (табл. 1).

Таблица 1 — Состав орбитальной группировки СРНС «Навстар»

Тип ИСЗ	Годы запусков	Количество ИСЗ в системе	Навигационные сигналы	Расчетный срок функционирования, лет
«Навстар-2А»	1990–1997	7 (ОР)	L1C/A, L1P(Y), L2P(Y)	7,5
«Навстар-2R»	1997–2004	10	L1C/A, L1P(Y), L2P(Y)	7,5
«Навстар-2RM»	2005–2009	7	L1C/A, L1P(Y), L1M, L2C, L2P(Y), L2M	10
«Навстар-2F»	2010–2017	12	L1C/A, L1P(Y), L1M, L2C, L2P(Y), L2M, L5	12,5
«Навстар-3»	2017–н.в.	2	L1C/A, L1P(Y), L1M, L2C, L2P(Y), L2M, L5	15

Бортовые радиопередатчики ИСЗ излучают на трех частотах: L-диапазона (L1 — 1575,42 МГц, L2 — 1227,6 МГц,

L5 — 1176,45 МГц) семь навигационных сигналов, в том числе три открытых и четыре защищенных (рис. 1).

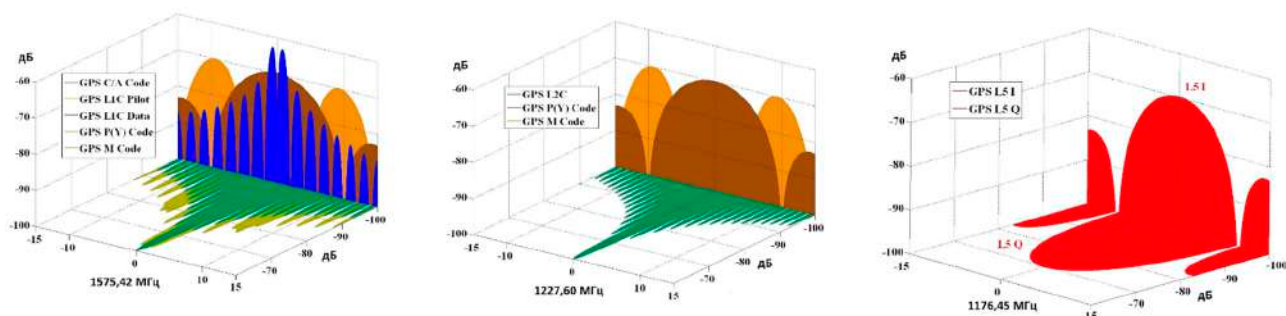


Рис. 1. Частотные и спектральные характеристики навигационных сигналов ИСЗ семейства «Навстар»

Решения, посредством которых обеспечивается помехозащищенность системы.

Структура формируемого навигационного сигнала обеспечивает заданные точности измерения навигационных параметров, высокую вероятность декодирования служебной информации, минимальную мощность излучения, разделимость сигналов от различных спутников при использовании других систем, устойчивость к помехам, аппаратную реализуемость. Для измерения дальности и скорости он имеет большую эффективную длительность и эффективную ширину спектра сигнала, что не реализуемо для простых сигналов, но в той или иной мере реализуемо для так называемых сложных (шумоподобных) (далее ШПС) сигналов.

Теоретической основой для используемых сигналов является фундаментальная теорема Шеннона, которая объединяет пропускную способность информационного канала C (бит/с), ширину полосы W_s , мощность сигнала P_s и мощность ограниченного по полосе аддитивного белого гауссовского шума P_j согласно выражению:

$$C = W_s \log_2 (1 + P_s / P_j).$$

Зависимость устанавливает связь между предельной скоростью надежной передачи информации по каналу с заданным отношением сигнал/шум и отведенной для передачи

информации полосой частот. В соответствии с этим может происходить «обмен» мощности сигнала на полосу пропускания информационного канала, т. е. при расширении полосы пропускания канала больше чем это требуется для передачи информации, радиоканал может работать при значительном превышении мощности шума над мощностью полезного сигнала. Отсюда помехоустойчивость определяется соотношением, связывающим отношение сигнал/помеха на выходе приемника (коррелятора) q^2 с отношением сигнал-помеха на входе приемника p^2 , где B отношение ширины полосы промодулированного сигнала к ширине полосы исходного сигнала, так называемая база сигнала.

$$q^2 = 2 B p^2.$$

Видно, что прием ШПС коррелятором сопровождается усилением сигнала (или подавлением помехи) в $2 B$ раз. Ввиду этого данный способ нашел применение в СРНС.

В СРНС используется метод расширения спектра сигнала путем последовательной перестройки фазы передаваемого сигнала двоичной псевдослучайной последовательностью. Она формируется путем умножения сигнала несущей на ПСП с тактовой частотой, намного превышающей ширину полосы частот информационного сигнала (рис. 2).

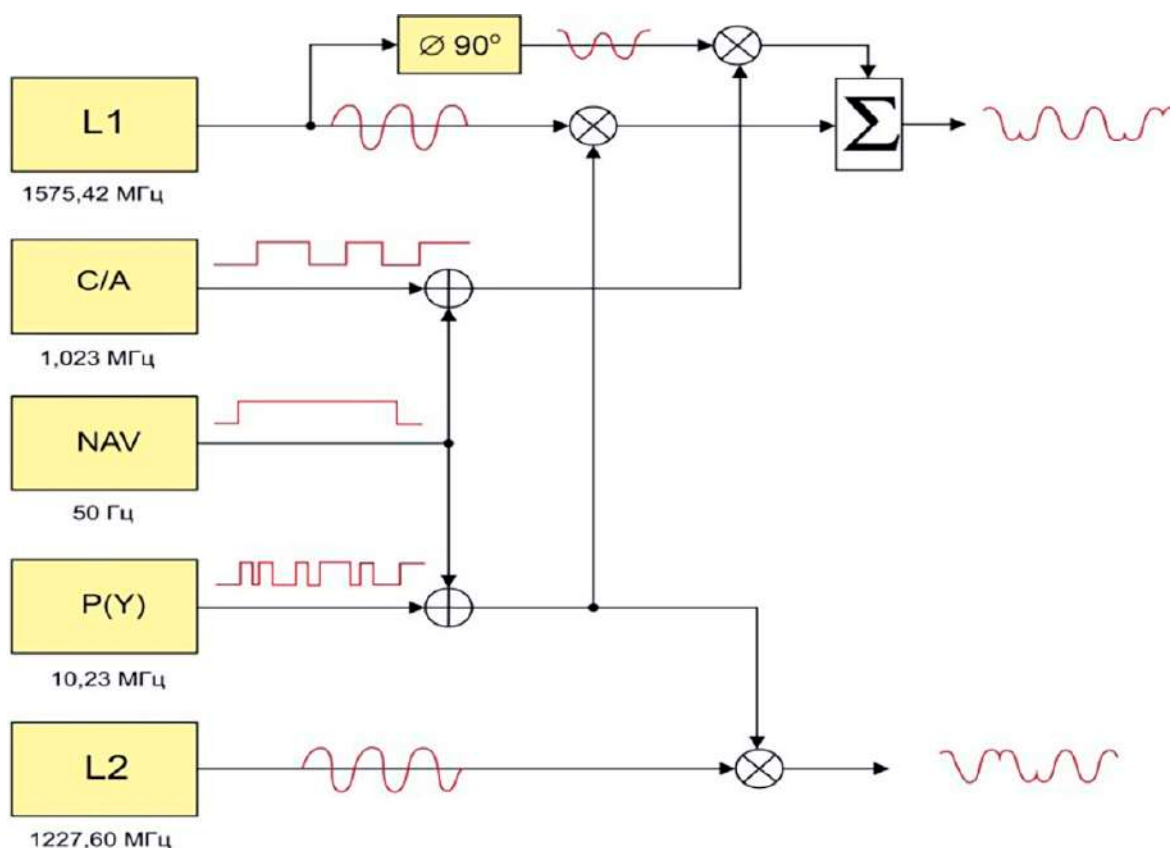


Рис. 2. Структура формирователя навигационных сигналов ИСЗ семейства «Навстар»

Все спутники излучают синхронные сигналы одинаковой структуры, служащие для измерения дальности и радиальной скорости. Индивидуальным является содержание служебной информации в сигнале, формирующем навигационные параметры конкретного спутника.

Навигационные сигналы, излучаемые аппаратурой спутника — это периодические фазоманипулированные сигналы с параметрами:

- ❖ открытый сигнал L1C/A — длительность дискреты 0,98 мкс, период равен 1 мс (база равна 1023), соотношение сигнал/шум обеспечивающий функционирование - 23 дБ;
- ❖ открытый сигнал L2C — длительность дискреты 0,196 мкс, период равен 1500 мс (база равна 7653), соотношение сигнал/шум, обеспечивающий функционирование - 32 дБ;
- ❖ закрытый сигнал L2P(Y)L1P(Y) — длительность дискреты 0,098 мкс, период составляет неделю (база приблизительно равна $6 \cdot 10^{12}$), соотношение сигнал/шум обеспечивающий функционирование - 47 дБ;
- ❖ закрытый сигнал L2M L1M — оценочное соотношение сигнал/шум обеспечивающий функционирование - 87 дБ;

- ❖ открытый сигнал L5 — оценочное соотношение сигнал/шум, обеспечивающий функционирование - 47 дБ.

Все кодовые последовательности формируются от одной и той же опорной частоты и привязаны к одному и тому же моменту времени с погрешностью 3 нс, сигнал C/A и L2C служит ключом для ускоренного вхождения в синхронизм по коду P.

Открытый сигнал C/A слабее защищен от преднамеренных помех, и в условиях их воздействия ускоренная синхронизация по коду P невозможна. В условиях помех синхронизация возможна только при использовании потребителем высокостабильных генераторов со стабильностью не хуже 10^{-12} , что не всегда приемлемо или доступно. Для устранения этого недостатка в процессе модернизации введен открытый сигнал L2C с более высокими защитными свойствами. Начиная с аппаратов IIR-M, введен в эксплуатацию новый M-код (используется комбинированная модуляция BOC (10, 5)). Использование M-кода позволяет обеспечить функционирование системы в рамках концепции Navwar (навигационная война).

М-код передается на существующих частотах L1 и L2. Данный сигнал обладает повышенной помехоустойчивостью, и его достаточно для определения точных координат (в случае с Р-кодом было необходимо получение и кода С/А).

Модернизированный сигнал (М-код) разработан для военного использования, для замены сигнала Р(Y). М-код имеет модуляцию с цифровой поднесущей (BOCsin(10,5)). Цифровая поднесущая — это меандровое колебание, которое модулирует радиосигнал, уже модулированный дальномерным кодом. Для описания BOC модуляции используется два параметра: частота выборки символов дальномерного кода f_c и частота цифровой поднесущей f_s . Для BOC модуляции введено обозначение BOCsin(m, n), где m — коэффициент кратности частоты поднесущей базовой

частоте 1,023 МГц ($m = f_s / 1,023$ МГц), а n — коэффициент кратности тактовой частоты дальномерного кода базовой частоты 1,023 МГц ($n = f_c / 1,023$ МГц). Границы смены символов дальномерного кода совпадают с границами символов цифровой поднесущей, при этом начальная фаза синусоидального колебания равна $\varphi = 0^\circ$. М-код обеспечивает большую помехозащищенность, чем Р-код. Преимущество М-кода состоит в защищенности и спектральной изоляции от «гражданских» сигналов (С/А и L1С кодов), а также в том, что ему не требуется предварительной синхронизации с С/А-кодом. Частота следования символов дальномерного кода составляет 5,115 МГц, а частота модулирующего меандра 10,23 МГц. Сигнал на частоте L5 мощнее на 3 дБ, чем гражданский сигнал, и имеет занимаемую полосу в 10 раз его шире (табл. 2) [1–2].

Таблица 2 — Навигационные сигналы ИСЗ семейства «Навстар-2»

Обозначение сигнала	Несущая частота, МГц	Ширина полосы, МГц	Тактовая частота дальномерного кода, МГц	Структура сигнала	Мощность сигнала у земли, дБВт	Вид сигнала
L1C/A	1575,42	20,46 (2,046)	1,023	BPSK	–158,5	Открытый
L1P(Y)	1575,42	20,46	10,23	BPSK	–161,5	Защищенный
L1M	1575,42	24	5,115	BOC(10,5)	–158,0	Защищенный
L2C	1227,6	20,46	1,023	BPSK & TM	–160,0	Открытый
L2P(Y)	1227,6	20,46	10,23	BPSK	–161,5	Защищенный
L2M	1227,6	24	5,115	BOC(10,5)	–161,0	Защищенный
L5	1176,45	20,46	10,23	QPSK	–157,9	Открытый

Спутниковое оборудование включает передатчик с выходной мощностью около 50 Вт, ЭИИМ 25/27 дБ/Вт, антенна 12 элементная решетка спиральных антенн.

Потери на трассе распространения (Космос-Земля) — 184 дБ.

На аппаратах начиная с 2RM обеспечивается возможность изменять мощность излучения ста-

рых (Р-кодов) и новых (М-кодов) сигналов для военных потребителей в целях повышения их помехозащищенности. В частности, реализовано отключение «новых» сигналов, что приводит к значительному увеличению мощности «старых».

Сигнал ИСЗ модификации 2F на третьей частоте (L5) совместим с аналогичным сигналом E5a европейской СРНС «Галилео».

Перспективные спутники типа «Навстар-3» должны заменить в 2025 году находящиеся в эксплуатации аппараты второго поколения и обеспечить повышенную точность определения местоположения потребителей и защищенность военных навигационных сигналов от средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ).

Особенностью системы при полном развертывании и эксплуатации ИСЗ третьего поколения станет использование межспутниковых линий связи в УВЧ-диапазоне для передачи команд управления и контроля функционирования спутников, также использование узконаправленных бортовых антенн для передачи сигналов с М-кодом в заданных районах земной поверхности в зоне диаметром около 1000 км для обслуживания военных пользователей, с увеличенной на 10–20 дБ мощностью излучения в целях противодействия средствам РЭБ. В пределах этой зоны мощность сигнала на входе навигационного приемника должна составлять $160 \cdot 10^{-16}$ Вт, что приблизительно в 100 раз больше существующего значения.

Аппаратура потребителей (АП) предназначена для определения пространственных координат, скорости и направления движения (для

подвижных пользователей) и точного системного времени. Она выполняет в автоматическом режиме поиск, обнаружение и прием навигационных радиосигналов, излучаемых спутниками, измерение значений радионавигационных параметров, решение навигационной задачи.

ВАП определяются расстояния до выбранных спутников (не менее четырех из 5–12 ИСЗ в зоне радиовидимости) посредством измерений временных сдвигов принимаемых дальномерных кодов относительно генерируемых в АП. Эти временные сдвиги являются мерой дальности распространения сигналов от каждого ИСЗ до навигационного приемника.

Для обеспечения помехозащиты АП в настоящее время реализован ряд мер [1, 3, 4].

Наиболее эффективными являются внешние многоэлементные антенны, повышающие качество приема навигационных сигналов и уровень защищенности приемников от средств РЭП противника.

В них реализована технология пространственной фильтрации активных помех путем формирования нулей (провалов) диаграммы направленности в направлении источника помех (рис. 3).

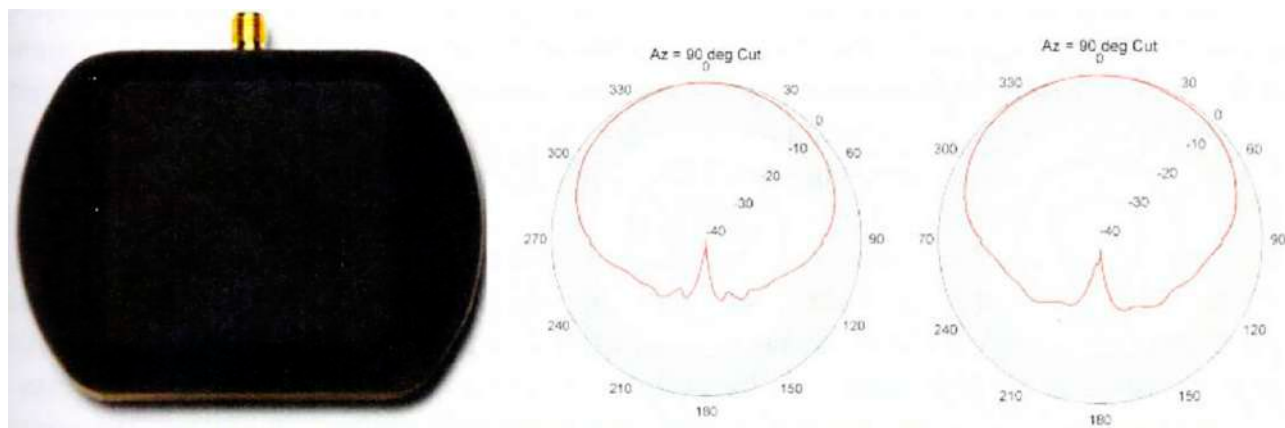


Рис. 3. Общий вид и диаграммы направленности (L1 и L2) антенны RA-1

На устройствах наземного и морского базирования часто применяются 7-элементные антенны типа «Гаджит-700ML и -700MS» (рисунок) совместной разработки канадской фирмы «Новател» (NovAtel) и британской «Кинетик» (QinetiQ).

Антенны этой серии могут формировать до шести нулей ДН с уровнем подавления помех 40 дБ, имеет коэффициент усиления — 30 дБ, размеры 29 × 12 см и массу 7,5 кг. Блок электронного управления «Гаджит-AE-N» (GAJT-AE-N—AntennaElectroniseNclosure) создан для большин-

ства 4-элементных антенн, формирующих до трех нулей диаграммы направленности. Он предназначен для установки на небольшие дистанционно управляемые машины и БЛА. Размеры блока составляют 15 × 15 × 4 см, масса около 1 кг, потребляемая мощность менее 20 Вт.

Другими важными направлениями по повышению помехозащищенности СРНС «Навстар» являются:

- ♦ модернизация навигационных приемников для обеспечения обработки сигналов М-кода;

- ❖ использование дифференциального режима;
- ❖ криптографическое преобразование защищенных Р-сигналов;
- ❖ режим селективной доступности;
- ❖ использование так называемых «космических и наземных дополнений».

Подробный анализ мер по повышению помехозащищенности СРНС «Навстар»

Процесс модернизации военных навигационных приемников для обеспечения обработки сигналов М-кода, которые в настоящее время излучают 22 спутника из 31, а в перспективе будут передаваться всеми ИСЗ системы, а также оснащение АП блоками инерциальной навигации, измеряющими изменения место-

положения пользователя путем точного отслеживания его перемещений, позволяет снижать воздействие преднамеренных помех, в том числе имитирующих радионавигационные сигналы; использование дифференциального режима (DGPS) повышает точность определения местоположения, скорости и времени.

Принцип организации работы в дифференциальном режиме основан на передаче в аппаратуру потребителей корректирующих данных (поправок) от одной или нескольких опорных станций (DGPS), расположенных в местах с координатами, определенных с максимальной точностью геодезическими способами на незначительном удалении (как правило, от 20 до 200 км) от пользователя (рис. 4).

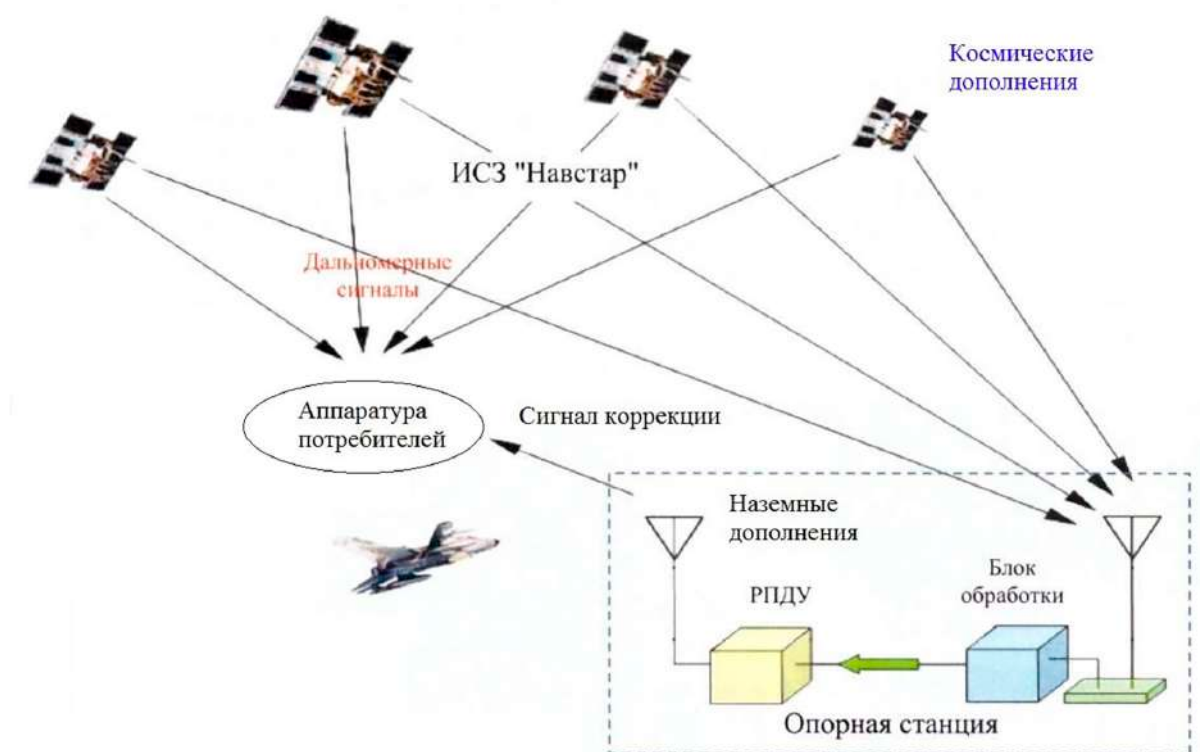


Рис. 4. Принцип организации работы СРНС в дифференциальном режиме

Применение дифференциального режима позволяет потребителям с АП стандартного режима выйти на уровень точности, предоставляемый защищенными навигационными сигналами. В точном режиме дифференциальная коррекция способствует повышению боевой устойчивости бортовой военной АП, так как позволяет эффективно подавлять погрешности, возникающие при нештатной работе системы, например, при уходе бортовых шкал времени отдельных ИСЗ, помехах, отказе бортового

стандарта частоты или нарушении работы наземного комплекса системы.

Для предотвращения имитации и несанкционированного использования защищенных сигналов применяется криптографическое преобразование защищенных Р-сигналов на частотах L1 и L2 в шифрованные Y-сигналы. Шифрованный вариант Р-сигнала называется Р(Y)-сигналом. Этот метод реализуется путем оснащения АП военных и других санкционированных пользователей модулем

SAASM (Selective Availability Anti-Spoofing Module), обеспечивающим безопасность данных в точном режиме навигационно-временных определений.

Основное назначение модуля SAASM: исключение несанкционированного доступа к точному режиму и обеспечение защиты при захвате такого АП противником. В нем реализована также проверка сигналов на подлинность (Signal Authentication).

Для предотвращения имитации и несанкционированного использования корректирующих сигналов дифференциального режима также осуществляется криптографическая обработка (шифрование) этих сигналов перед передачей потребителям.

Режим селективной доступности — это вводимое министерством обороны США ограничение точности определения пространственного положения несанкционированными потребителями путем преднамеренного искажения значений некоторых параметров, передаваемых с помощью навигационных сообщений открытых и защищенных сигналов. При этом ошибки вносятся в значения эфемерид и коэффициенты полинома коррекции шкалы времени бортовых стандартов частоты ИСЗ. Искорженные значения с помощью наземных станций управления закладываются по радиоканалу в навигационное оборудование спутников и в дальнейшем передаются потребителям.

Защита от радиоподавления АП СРНС «Навстар» от средств РЭП осуществляется посредством увеличения мощности спутниковых сигналов точного режима, использованием на АП антенн с управляемой диаграммой направленности (формированием нулей ДН в направлении источника помех) и применением различных методов фильтрации и специальной обработки защищенных сигналов. Кроме того, для снижения влияния преднамеренных помех осуществляется сопряжения АП с инерциальными навигационными системами (в аппаратуре 1 класса это обязательная опция).

В ходе модернизации предполагается поэтапно осуществить уменьшение максимальной дальности подавления радионавигационных сигналов с нынешних 90–100 км до 4–5 км.

По оценкам, внедрение новых антенн и инерциальных модулей, а также серийное производство военной АП, обеспечивающей обработку М-кода, позволит уменьшить максимальную дальность подавления до 3 км.

Предпринимаемые меры снижают эффективность использования маломощных передатчиков помех и вынуждает создавать дорогостоящие и крупногабаритные станции

радиоподавления, что облегчает их обнаружение и уничтожение.

Так же одним из способов повышения помехозащищенности СРНС «Навстар» является использование так называемых «космических и наземных дополнений». Принцип их функционирования основан на использовании дифференциального режима и дополнительных передатчиков дальномерных навигационных сигналов, установленных, как правило, на геостационарных и/или геосинхронных спутниках, а также на земле. Так, например, в этих целях осуществляется передача дополнительных навигационных сигналов большой мощности, транслируемых через ИСЗ спутниковой системы подвижной связи «Иридиум» (рис. 5).

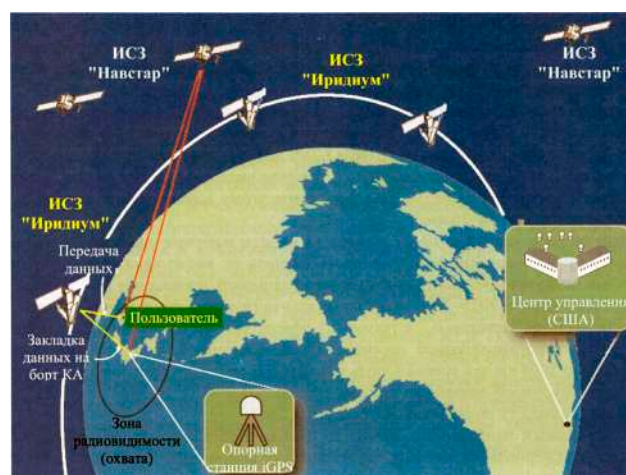


Рис. 5. Принцип использования системы «Иридиум» в качестве дополнения СРНС «Навстар»

Для формирования дополнительных сигналов с навигационными данными и дифференциальными поправками предусматривается использование автономных наземных опорных станций iGPS. Безопасность опорных станций будет достигаться за счет их размещения на территории дружественных США государств.

Кроме этого, в сложных для распространения сигнала условиях (в том числе преднамеренные помехи) ситуацию можно улучшить путем дополнения данных, получаемых спутниковым навигационным приемником, информацией от станций мобильной связи, т. е. от GSM.

Например, компания U-blox создала технологию гибридного позиционирования, которая основана на использовании «смеси» данных спутниковой навигации и данных, получаемых от GSM-станций мобильной связи. Эта технология получила название CellLocate. При помощи CellLocate можно определять местоположение даже без использования навигационного приемника (табл. 3).

Таблица 3 — Основные технические характеристики навигационных приемников U-blox

Параметры	LEA-7N	NEO-7N/ NEO-7M	MAX-7C/ MAX-7Q/ MAX-7W	IT530M	US530M
Внешний вид					
Габаритные размеры, мм	17,0x22,4x2,4	12,2x16,0x2,4	9,7x10,1x2,5	9,6x14,0x1,85	9,6x14,0x1,95
Напряжение питания, В	2,7–3,6	2,7–3,6/ 1,65–3,6	1,65–3,6/ 2,7–3,6/ 2,7–3,6	3,0–4,3	
Ток потребления, мА	23	15/17	15/17/17	11	
Холодный старт, с	29	29/30	30/29/29	31	
Чувствительность, дБм	холодный старт	–148			
	слежение	–162		–165	

Принцип работы основан на том, что для любой точки местности существует определенная комбинация «видимых» GSM-станций. CellLocate позволяет «связать» полученную при помощи навигационного приемника позицию с данными о станциях мобильной связи, которые «видимы» с этой точки, передать эту информацию на CellLocate сервер, оценивающий позицию на основе информации от других приборов, которые определяли свое местоположение при помощи навигационного приемника при видимости тех же самых станций мобильной связи, и отослать свою оценку обратно на модуль. Данный сервис общедоступный.

Широкое распространение сети мобильной связи стандарта GSM позволяет производить определение позиции при помощи технологии CellLocate практически везде и в любых условиях.

В современных образцах вооружения, военной и специальной техники, таких как корректируемые авиабомбы и снаряды, оперативно-тактические ракеты и БПЛА, для получения дополнительной навигационной информации используются псевдолиты, радиомаяки и другие устройства. Для повышения устойчивости функционирования навигационной системы и повышения вероятности поражения цели применяются дополнительные датчики для корректировки сигналов GPS или целые автономные навигационные приборы для интеграции с GPS, например инерциальные системы (модули).

Инерциальные навигационные систе-

мы (ИНС) не подвержены воздействию искусственных помех. Основными источниками погрешностей в ИНС являются системные погрешности инерциальных датчиков (гироскопов и акселерометров).

Чем бы ни была вызвана погрешность инерциального датчика: внутренними механическими дефектами, погрешностью электроники или другими факторами, в конечном итоге это приводит к погрешности в выходных данных этих устройств. В гироскопах основная погрешность возникает в измерениях угловой скорости, а в акселерометрах — в измерениях кажущегося ускорения. В обоих случаях наиболее серьезными погрешностями, как правило, являются нестабильность смещения нуля, которая измеряется в о/ч для гироскопов или в микро-г для акселерометров, и стабильность масштабного коэффициента, которая обычно измеряется в миллионных долях (ppm) значений инерциальных параметров. Чем меньше погрешность инерциального датчика, тем выше точность навигационной системы. Соответственно, более точные датчики повышают стоимость системы.

В большинстве случаев погрешность в координатах инерциальной навигационной системы, оснащенной гироскопами с нестабильностью смещения нуля 0,01 о/ч и имеющей рабочий цикл в несколько часов, возрастает со скоростью 1,5–2 км в час. Если продолжительность операции намного короче по времени, дрейф гироскопа, смещение нуля акселерометра,

погрешность начальной выставки ИНС и погрешности исходных данных также приводят к соответствующей погрешности определения местоположения.

Гироскопы на основе микроэлектромеханической системы (МЭМС) выгодно отличаются стоимостью и массогабаритными характеристиками, благодаря чему сфера применения таких устройств неуклонно расширяется.

Развитие этих приборов определяет военный рынок, в частности такие направления, как «интеллектуальное» оружие, автопилоты летательных аппаратов и ракет, системы наведения тактических ракет ближнего действия,

Небольшие по размеру МЭМС-системы послужили основой создания высокоинтегрированных инерциально-спутниковых систем (рис. 6).



а)



б)

Рис. 6. МЭМС Honeywell HG1930 (а) и Honeywell HR4930 (б)

Типичным представителем современных ИНС на МЭМС является Honeywell HG1930 массой менее 100 грамм, объемом 100 куб. см, потребляемой мощностью < 3 Вт, с нестабильностью смещения нуля гироскопа 20 о/ч и случайным уходом по углу 0,09 о/ч. Еще один пример — система HG4930

объемом 5 куб. дюймов, с нестабильностью смещения нуля гироскопа 7 о/ч гироскопа по углу 0,04 о/ч.

В настоящее время налажено серийное производство малогабаритных гироскопов и навигационных модулей на базе этой технологии (табл. 4).

Таблица 4 — Характеристики малогабаритных гироскопов и навигационных модулей

Навигационный модуль STIM202	Навигационный модуль SRS03	Гироскоп CRM200, CRM202	Навигационный инерциально-измерительный модуль DMU02	Навигационный модуль CRS07-11S, CRS07-13S
нестабильность смещения — 0,5 °/ч; угловой случайный уход (шум) — 0,15 °/√ч; масса — 55 г; объем — 35 см ³ .	защищенный корпус — 29x29x18,4 мм; дрейф нуля (систематическая ошибка) — 0,2 °/ч; случайный угловой уход, дрейф ± 0,55 °/с в любой период длительностью 30 с; масса — < 18 г.	размер — 6,3x5,5x2,7 мм; диапазон измерений от ± 0,75 °/с до ± 2700 °/с; дрейф нуля (систематическая ошибка) 24 40 °/ч; случайный угловой уход 0,28 °/√ч; масса — 0,1 г.	три гироскопа CRG20 и 3-х осевой акселерометр; защищенный корпус — 25x25x25 мм; дрейф нуля: акселерометр — ± 5,5 mg; гироскоп — ± 2,5 °/с; масса — 17 г.	бескорпусный — 22x22x13,2 мм; дрейф ± 0,55 °/с в любой период длительностью 30 с; чувствительность — 20, 25 мВ/°/с; масса — 10 г.
				

Выводы и пути решения задачи по повышению эффективности

Анализ возможности радиоподавления СНРС.

Некоторое время назад традиционно было принято считать, что недостатком СНРС является низкая помехоустойчивость навигационной АП по отношению к воздействию маскирующих (например, шумовых или сигналоподобных), а также дезинформирующих (интеллектуальных) радиопомех. Однако в настоящее время и на перспективу ситуация, характеризующаяся низкой помехоустойчивостью АП СНРС, радикально меняется. Это связано с внедрением в АП описанных выше средств помехозащиты, основанных на внедрении цифровых антенных решеток с адаптивной пространственно-временной и частотно-временной обработкой навигационных сигналов и помех, передовых алгоритмов формирования и обработки сигнала,

аппаратно-программной фильтрации внеполосных сигналов, а также методов защиты от дезинформирующих помех и «глубокой интеграции» инерциальных навигационных систем и GPS. Очевидно, что задача разработки эффективных средств подавления радионавигационных систем и средств их защиты, обеспечивающих устойчивость функционирования АП навигационных систем при действии помех в области расположения АП, является актуальной.

Обобщая изложенный материал, а также результаты теоретических и экспериментальных работ, можно сделать следующие выводы.

Для создания помех СНРС, при котором отсутствует решение навигационной задачи, требуются различные уровни превышения мощности «классических» радиопомех над уровнем сигнала в полосе пропускания приемника (табл. 5, табл 6) [1, 5, 6].

Таблица 5 — Требуемые значения соотношения помеха/сигнал, при котором отсутствует решение навигационной задачи аппаратурой потребителей

Канал АП СНРС	Тип помехи	Вероятность подавления канала АП	Требуемое соотношение помеха/сигнал, дБ	Мощность сигнала у земли, дБВт
L1C/A	Шумовая	0,8	25-27	–158,5
	Гармоническая	0,8	38-45	
L2C	Шумовая	0,7	35	–160,0
	Гармоническая	0,7	50	
L1P(Y) L2P(Y)	Шумовая	0,6	47-50	–161,5
	Гармоническая	0,6	65-70	
L1M /L2M	Шумовая	0,6	90/85	–158,0/ –161,0
	Гармоническая	0,6	110/95	
L5	Шумовая	0,6	47-50	–157,9
	Гармоническая	0,6	70-75	

Таблица 6 — Энергетический выигрыш при дополнительных мерах помехозащиты

Дополнительные меры помехозащиты	Значение
4-х элементная антенная решетка	20 дБ
7- элементная антенная решетка	30-40 дБ
Цифровая адаптивная решетка с дросселем	40-70 дБ
Интеграция с АП ГНСС с ИНС	10-20 дБ

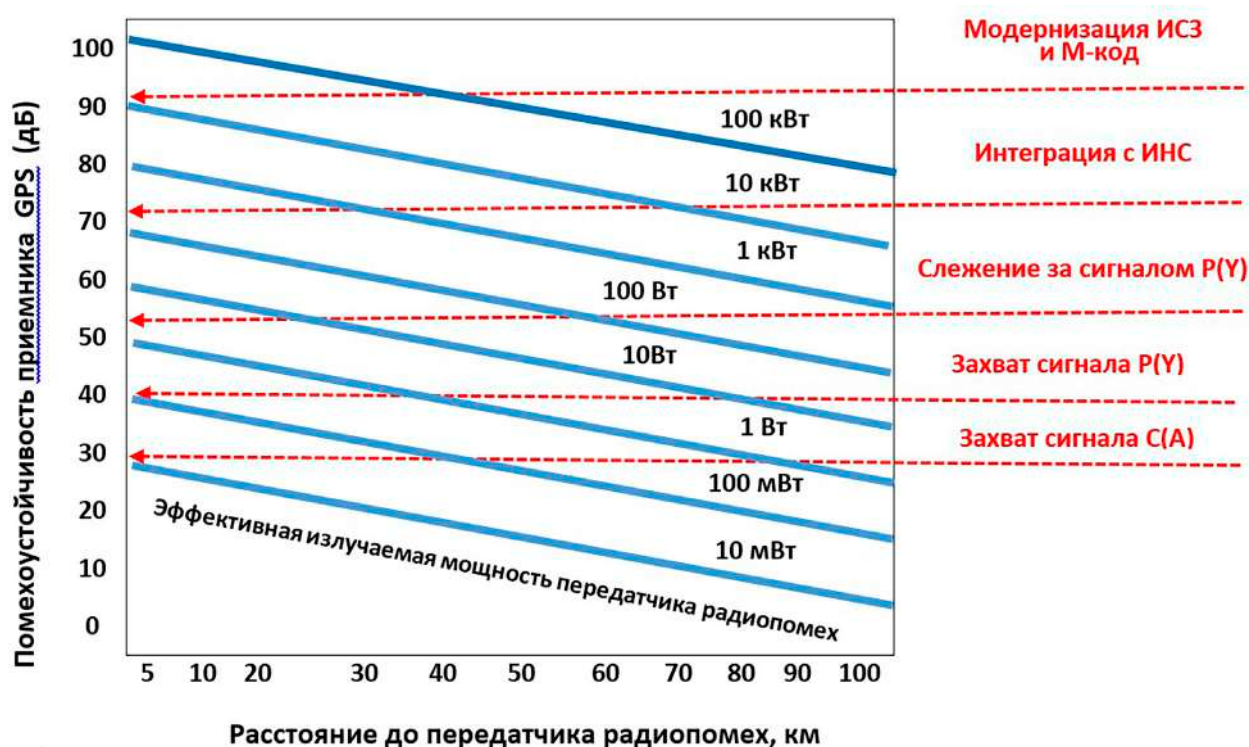


Рис. 7. Энергетические условия радиоподавления СРНС «Навстар»

Для подавления каналов СРНС в современной технике РЭП применяются с разной степенью эффективности:

- ❖ шумовая помеха (белый шум высокой мощности на частотах каналов СРНС);
- ❖ гармоническая (полигармоническая) помеха (одночастотное или модулированное гармоническое колебание на частоте (на частотах) сигнала);
- ❖ прицельная имитирующая помеха (помеха имитирует структуру сигнала);
- ❖ заградительная имитирующая помеха (имитирует набор сигналов спутников СРНС).

Технические особенности формирования помеховых сигналов и погрешности аппаратуры обуславливают необходимость увеличения ширины спектра помехи на 15–20 % сверх занимаемой полосы навигационным сигналом и, как следствие, увеличение необходимой для подавления мощности передатчика помех.

Таким образом, существующее положение дел повышает требования к энергетическим и технико-экономическим затратам и снижает эффективность одиночных систем и комплексов РЭП СРНС.

Логическое решение данной проблемы, это создание управляемого зонального противонавигационного поля радиопомех (УЗПНПР) в интере-

сах территориальной защиты от вооружения, в основе временного и навигационного обеспечения которых лежат описанные выше системы.

При низких значениях мощности навигационного сигнала у земли достижение больших значений отношения помеха/сигнал при их постановке технической проблемой не является. Для блокирования навигации необходимо достижение устойчивого подавления приёмников СРНС на протяжении длительного периода времени, поэтому прежде всего следует определиться с конфигурацией системы подавления и целесообразным уровнем мощности помехи. При выборе пространственной конфигурации следует принять во внимание то, что в диапазоне частот СРНС подавление эффективно только в пределах прямой радиовидимости. Исходя из необходимости организации покрытия радиопомехами достаточно больших площадей, структура системы должна быть многопозиционной с шагом сетки, в зависимости от энергетических показателей модулей помех, от единиц до десятков километров.

Соотношение выбранной мощности сигнала помехи одного передатчика и позиционный шаг размещения средств требуют детального исследования для оптимизации информационно-технических, информационно-боевых (оперативно-технических), боевых (оперативно-тактических) показателей всей системы в целом.

Очевидно, что увеличение мощности модулей радиопомех будет усиливать эффект подавления, увеличивать кратность покрытия территории, сокращать количество элементов структуры и, в целом, удешевлять систему. Однако очевидно и то, что увеличение числа передатчиков усложняет борьбу противника с ней и повышает скрытность и живучесть системы, а также эффективность подавления АП СРНС, оснащенных управляемыми антенными решётками.

Опыт применения передатчиков помех типа «Поле 21» для подавления АП СРНС в различных условиях боевого применения показывает эффективность регулярного построения по принципу мозаичной сети с размерностью кластеров, определяемой используемой диаграммой направленности АФУ. Правильное пространственное распределение передатчиков помех и размещение, и ориентация их антенн обеспечивает перманентное подавление защищенных АП СРНС.

Развитие элементной базы высокочастотной микроэлектроники, внедрение SDR и USRP технологий, а также появление малога-

баритных и емких аккумуляторов открывают новые технологические пути решений данной задачи, а именно создание пространственно-распределенной системы подавления АП СРНС на основе компактных необслуживаемых передатчиков помех с автономными химическими источниками электропитания с программно-определяемыми значениями выходной мощности и структуры помехи, объединенных в дистанционно управляемую сеть.

Такое технологическое решение позволит применять систему в режиме взаимно коррелированных помех, что может свести практически на ноль эффективность управляемых антенных решеток и автокомпенсаторов АП СРНС. Интеграция такой системы с элементами автоматизированной ПВО существенно повысит защищенность военных и радиоэлектронных объектов.

Возможность централизованной координации использования УПРПНП и радиоэлектронных объектов другого назначения обеспечит высокий уровень устойчивости собственных систем управления войсками и оружием.

Литература

1. Ануфриев А.А., Чиркин П.М., Шипунов В.А. Анализ помехоустойчивости системы навигационно-временного обеспечения «НАВСТАР». В сборнике: инновационная деятельность в Вооруженных Силах Российской Федерации // Труды всеармейской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 42–51.
2. Монаков А.А. Теоретические основы радионавигации: учебник для вузов / А.А. Монаков. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 432 с.
3. Камнев Е. А. Радиоподавление помехозащищенной навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем в интересах объектово-территориальной защиты. Дис. канд. техн. наук по спец. 05.12.14 «Радиолокация и радионавигация». – М.: МАИ (НИУ), 2018. – 160 с.
4. Пантенков Д. Г. Результаты математического моделирования помехоустойчивости спутниковых радионавигационных систем при воздействии преднамеренных помех // Успехи современной радиоэлектроники. 2020. № 2. С. 57–68.
5. Schmidt, G.T. (Independent Consultant, Lexington, Massachusetts), GPS Based Navigation Systems in Difficult Environments, *Giroskopiya i Navigatsiya*, 2019, vol. 27, no. 1 (104), pp. 3-21.
6. Костромицкий С. М., Дятко А. А., Шумский П. Н. Создание эффективных помех системам глобальной навигации // Базис. 2019. № 1(5). С.14–20.

ANALYSIS OF THE «NAVSTAR SATELLITE RADIO NAVIGATION SYSTEM OF THE USA AS AN OBJECT OF ELECTRONIC WARFARE»

Anufriev A.A.¹, Chirkin P.M.², Shipunov V.A.³

Keywords: orbital grouping, artificial earth satellite, armed conflict, unmanned aerial vehicle, correctable ammunition, combat mission, vulnerability, navigation signal receiver, consumer equipment, inertial navigation system.

Annotation

The aim of the work is to develop new approaches to radio suppression of signal receivers of the «Navstar» satellite radio navigation system, in connection with ongoing work to increase its noise immunity and improve organizational and technical solutions for its application.

The research method: Based on the analysis of solutions that ensure the noise immunity of the «Navstar» satellite radio navigation system, proposals should be developed to suppress radio navigation signal receivers to protect troops, weapons, military and special equipment from enemy weapons.

Results: the main features of solving the problem of radio suppression of SRNS consumer equipment in the context of transformation and militarization of their use are determined. Priority directions for the implementation of organizational and technical principles for the construction and management of a distributed navigation field suppression system for sustained suppression of receivers over a long period of time in the interests of territorial protection from enemy weapons, troops, military and special equipment are proposed.

Scientific novelty: it consists in obtaining numerical indicators of the radio suppression conditions of the «Navstar» SRNS consumer equipment when it is integrated with inertial navigation modules, ground and space add-ons.

References

1. Anufriev A.A., Chirkin P.M., Shipunov V.A. Analiz pomehustojchivosti sistemy navigacionno-vremennogo obespechenija «NAVSTAR». V sbornike: innovacionnaja dejatel'nost' v Vooruzhennyh Silah Rossijskoj Federacii. Trudy vsearmejskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Sankt-Peterburg, 2022. S. 42–51.
2. Monakov A.A. Teoreticheskie osnovy radionavigacii: uchebnik dlja vuzov / A.A. Monakov. – Sankt-Peterburg: Lan', 2024. – 432 s.
3. Kamnev E. A. Radiopodavlenie pomehozashhishhennoj navigacionnoj apparatury potrebitelej sputnikovyh radionavigacionnyh sistem v interesah ob#ektovo-territorial'noj zashhity. Dis. kand. tehn. nauk po spec. 05.12.14 «Radiolokacija i radionavigacija». – M.: MAI (NIU), 2018. – 160 s.
4. Pantenkov D. G. Rezul'taty matematicheskogo modelirovaniya pomehustojchivosti sputnikovyh radionavigacionnyh sistem pri vozdejstvii prednamerennyh pomeh // Uspehi sovremennoj radiojelektroniki. 2020. № 2. S. 57–68.
5. Schmidt, G.T. (Independent Consultant, Lexington, Massachusetts), GPS Based Navigation Systems in Difficult Environments, Giroskopiya i Navigatsiya, 2019, vol. 27, no. 1 (104), pp. 3-21.
6. Kostromickij S. M., Djatko A. A., Shumskij P. N. Sozdanie jeffektivnyh pomeh sistemam global'noj navigacii // Bazar. 2019. № 1(5). S.14–20.

¹Alexey A. Anufriev, Ph.D., Associate Professor, Professor of the Department of Electronic Warfare of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: irbis453@mail.ru

²Pavel M. Chirkin, Lecturer, Department of Electronic Warfare of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: 67-cccc@mail.ru

³Vladimir A. Shipunov, Associate Professor, Professor of the Department of Electronic Warfare of the Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: colonel53@mail.ru



НАЗНАЧЕНИЕ, ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Соколов А.П.¹, Ермолаев В.Е.², Худайназаров Ю.К.³

DOI:10.21681/3034-4050-2025-1-34-43

Ключевые слова: робототехнические комплексы, опыт специальной военной операции, тактика применения, классификация, концепция развития РТК, информационно-технические средства, воинские формирования.

Аннотация

Цель работы: состоит в сравнительном анализе различных типов БЛА, их характеристик и специфики применения в различных областях.

Метод исследования: применен метод обобщения, метод сопоставления, метод анализа, метод классификации.

Результаты исследования: определены назначение, цели, задачи и область применения комплексов малых беспилотных летательных аппаратов (МБЛА). Выявлены основные классы МБЛА, их особенности и преимущества, а также представлена классификация данных аппаратов с учетом их технических характеристик и функционального назначения. Определены общие тенденции по роботизации военной техники, особенности применения БЛА в ходе специальной военной операции. По результатам анализа опыта боевого применения робототехнических комплексов (РТК) установлено, что существенно увеличивается дальность и функциональность применения РТК, совершенствуются способы и система управления РТК одновременно со способами и средствами противодействия РТК. Повышаются возможности по перехвату управления и блокированию каналов связи и управления, что обуславливает необходимость обеспечения надежности опознавания корреспондентов связи, операторов РТК, элементов РТК, диагностировать их состояние.

Научная новизна: определено актуальное направление научных исследований по созданию оптимальных условий управления робототехническими комплексами военного назначения (РТК ВН) при выполнении боевых задач вне контролируемой зоны в условиях деструктивных внешних воздействий. Результаты исследования могут быть основой для анализа тактики применения комплексов МБЛА в различных условиях и анализа требований к модернизации и разработке новых образцов БЛА, в том числе для их группового применения в составе роботизированных комплексов.

Введение и постановка задачи

Анализ состояния и перспектив развития комплексов МБЛА, а также технологий роевого управления с учётом зарубежного и отечественного опыта проводился с использованием открытых источников информации [1–3].

Назначение, цели и область применения роботизированных комплексов с малоразмерными БЛА определяются оперативными и тактическими задачами воинских формирований. Необходимо проанализировать задачи, выполняемые с применением МБЛА, основные тенденции совершенствования и решаемые в ходе научных исследований и конструкторских разработок задач.

Основные направления исследований при разработке экспериментальных образцов комплексов мини, микро и нано-БЛА, построение сценариев применения комплексов, технические требования к комплексам с МБЛА, в том числе при реализации роевого управления комплексами, выбор и обоснование направлений информационно-технического сопряжения комплексов МБЛА с КРУС и АСУВ должны опираться на анализ зарубежного и отечественного опыта создания и развития аналогичных перспективных комплексов МБЛА, а также на развитие технологий искусственного интеллекта.

В связи с этим требуется проведе-

¹Соколов Андрей Петрович, соискатель Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: andi.10@bk.ru

²Ермолаев Владимир Евгеньевич, адъюнкт кафедры Безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: Bugga876@gmail.com

³Худайназаров Юрий Кахрамонович, кандидат технических наук, докторант кафедры Безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: yu-78@ya.ru

ние анализа зарубежного опыта разработки роботизированных средств и систем, а также особенностей тактики применения БЛА в ходе специальной военной операции, тенденций развития мобильных РТК общего и специального назначения, формирования классификации РТК ВН и общей концепции построения и применения системы РТК ВН.

Решение поставленной задачи

Существующие образцы комплексов МБЛА ближнего действия (БлД) предназначены для выполнения следующих задач:

- ведения воздушной оптико-электронной разведки с передачей полученных данных в масштабе времени, близком к реальному, в условиях помеховой обстановки;
- ведения скрытного наблюдения за объектами противника при выполнении боевых и специальных задач;
- ведения разведки в условиях труднодоступной местности;
- поражения живой силы противника;
- выдачи целеуказаний различным огневым средствам;
- ведения корректировки огня;
- поражения небронированной лёгкой техники.

Основные тенденции совершенствования малогабаритных БЛА следующие:

- разработка технических решений для создания экспериментальных образцов перспективных мини-, микро, нано-БЛА БлД;
- создание электронных моделей и отдельных макетов экспериментальных образцов перспективных мини-, микро-, нано-БЛА с оценкой возможности решения ими задач по назначению, в том числе и их роевого управления, а также возможности сопряжения с автоматизированными средствами управления, входящими в состав боевой экипировки военнослужащего;
- формирование и обоснование состава и технических характеристик ключевых элементов комплексов с МБЛА БлД;
- исследование возможности поражения живой силы противника с помощью разрабатываемых экспериментальных образцов комплексов с МБЛА БлД;
- исследование путей и возможности применения в составе комплексов с МБЛА отечественных комплектующих и материалов. В связи с этим актуальны следующие направления исследований:
- определение состава и технических характе-

ристик ключевых элементов образцов комплексов с мини-, микро- и нано-БЛА БлД;

- разработка и обоснование технических решений для создания образцов перспективных комплексов мини-, микро- и нано-БЛА БлД;
- разработка способов (сценариев) применения комплексов мини-, микро- и нано-БЛА, тактических приёмов и способов их применения;
- разработка технических требований к реализации роевого управления мини, микро и нано-БЛА БлД;
- создание электронных моделей и макетов экспериментальных образцов комплексов с мини, микро и нано-БЛА с возможностью роевого управления;
- разработка технических решений по обеспечению имитозащиты команд управления в экспериментальных образцах комплексов мини, микро и нано-БЛА, а также предложения по защите (криптозащите) информации при передаче данных и сообщений по радиоканалам;
- разработка технических решений по защите информации от НСД как в экспериментальных образцах комплексов мини-, микро- и нано-БЛА БлД, так и при их взаимодействии с другими образцами ВВТ.

Одним из относительно новых направлений высокотехнологичного и перспективного оружия, вызывающего особый интерес в зарубежных армиях, стали беспилотные летательные аппараты (БЛА; по американской терминологии — Unmanned Air Vehicle, или UAV). Сейчас в мире реализуется более 700 программ создания различных типов и видов военных БЛА; более 20 высокоразвитых стран имеют или ведут разработки боевых БЛА различного функционального назначения, а ещё более 10 стран уже использовали их при ведении боевых действий.

Учитывая, что в ходе локальных конфликтов последних лет (в том числе в миротворческих и в специальных операциях) всё возрастающую роль играют действия отдельных групп тактических формирований сухопутных войск (отделение, взвод, рота, батальон), использование малоразмерных БЛА становится важнейшей частью ведения общевойскового боя, определяющей осведомлённость группы (формирования, подразделения), её мобильность и безопасность передвижения. Исходя из этого, а также по ряду других причин, рассматриваемых далее, в качестве особо перспективного и актуального направления развития беспилотной авиации следует считать разработку и способы боевого применения нано-, микро- и мини-

БЛА. Словосочетания (термины) «нано-БЛА» и «микро-БЛА» в ближайшие годы, вероятнее всего, существенно изменят свой смысл. В сравнении с более крупными беспилотниками, уже повсеместно применяющимися в разведывательных и боевых операциях, значительно меньшие по размерам модели (нано-, микро- и мини-БЛА), варьирующиеся от систем размером с ладонь до запускаемых с плеча, обычно оснащаются электрическим двигателем и, как правило, способны продержаться в воздухе менее часа. Сейчас к «нано-» и «микро-БЛА» относят системы и комплексы, действующие в интересах

малых групп военнослужащих тактического звена и ближнего радиуса действия. Весь комплекс (один или несколько МБЛА, малогабаритный пульт управления и обработки данных, специальные целевые нагрузки, аккумуляторные батареи, источники зарядки и питания, ЗИП одиночный, средства обслуживания МБЛА и т. д.) должен переноситься одним человеком. Запуск МБЛА производится также одним бойцом с руки или с неподготовленной площадки (рис. 1), или же с использованием легких пусковых установок — например, резиновых рогаток-катапульт.



Рис. 1. Способы запуска мини, микро и нано-БЛА в условиях ведения боевых действий



Рис. 2. Нано-БЛА вертолётного типа PD-100 Black Hornet Nano

Обычно в разных классификациях [3], сформированных ещё в 90-х годах прошлого века, к микро-БЛА относили аппараты, у которых взлётный вес не превышал 5...7 кг, радиус действия составлял около 10...12 км, практический потолок — до 3000...3500 м и продолжительность полёта — около 1...1,5 ч. Понятие «нано-БЛА» появилось уже гораздо позже (примерно, в начале 2000 годов), когда сформировались предпосылки для создания и исследований аппаратов такого класса.

Одним из наиболее заметных и ярких представителей БЛА этого класса стал PD-100 Black Hornet Nano (разработка компании Prox Dynamics) — нано-БЛА вертолётного типа, самый миниатюрный в мире БЛА военного назначения до настоящего времени (рис. 2). Современные нано- и микро-БЛА стали гораздо компактнее и миниатюрнее, чем предлагалось к рассмотрению в прежних классификациях; как и их бортовое оборудование, которое также стало существенно компактнее. Всё это сделано для того, чтобы иметь возможность разместить аппараты в составе боевой экипировки военнослужащих.

По своему назначению нано-, микро- и мини-БЛА подразделяются на разведывательные, разведывательно-ударные и ударные (последние, как правило, в этой классификации малоразмерных БЛА только одноразового применения — с полётом к цели с полезной нагрузкой только в одну сторону) с массой ПН около 0,3...0,8 кг. В редких случаях полезная нагрузка таких БЛА может достигать 1,0...1,5 кг и уж совсем в редких ситуациях — до 2,7...3,0 кг. Схемы построения новейших нано- и

микро-БЛА весьма разнообразны. Чаще всего это БЛА коптерного типа (квадрокоптерного, мультироторного или мультикоптерного построения); также используют БЛА самолётной и вертолётной схем, а иногда даже орнитоптеры (имитирующие внешний вид различных птиц и насекомых). Новейшие нано- и микро-БЛА имеют совсем небольшие линейные размеры (от 0,1 до 1,0 м), максимальные скорости полёта (от 10–15 до 100–150 км/ч), могут быстро менять скоростной режим полёта и «зависать» на месте (это присуще для аппаратов вертолётного и коптерного типа), а также выполняют полёт на предельно малых высотах (в диапазоне высот 1...10 м) (рис. 3).

Для решения задач управления полётом, видеонаблюдения земной поверхности, цифрового фотографирования, определения координат объектов и участков местности, передачи данных в реальном режиме времени, нано- и микро-БЛА оснащаются комплектом минимально необходимого оборудования и систем, а именно:

- системой навигации (автономной или основанной на использовании сигналов спутниковых радионавигационных систем);
- системой связи, включающей каналообразующую аппаратуру, по которой осуществляется управление БЛА и передача телеметрических данных о состоянии его оборудования, а также аппаратуру передачи данных от целевой нагрузки (в ряде случаев, сменной);
- целевой нагрузкой (аппаратура разведки и наблюдения, постановки помех или даже миниатюрные средства поражения).



Рис. 3. Схемы построения нано- и микро-БЛА РФН с указанием размещения бортового оборудования

Для определения своих координат в процессе полёта нано- и микро-БЛА используют спутниковые навигационные приемники (GPS, ГЛОНАСС и др.) в сочетании с инерциальной системой наведения. Углы ориентации и перегрузки определяются с использованием гироскопов и акселерометров.

В качестве управляющей аппаратуры, как правило, применяются специализированные малоразмерные вычислители на базе цифровых сигнальных процессоров. Приёмники могут работать как непрерывно, постоянно измеряя текущие координаты БЛА, так и включаться периодически, корректируя работу датчиков инерциальной системы навигации. БЛА должен знать свои географические координаты для выполнения полёта по заданному маршруту и для возвращения к месту посадки, а также для обеспечения применения средств поражения по целям, выбранным для нейтрализации или для уничтожения. Сравнительный анализ требует систематизации различных видов БЛА по их основным характеристикам (табл. 1).

Тактика боевых действий в ходе специальной военной операции существенно изменяется благодаря новым методам и способам применения ударных и разведывательных БЛА [4]. Для достижения эффекта «огневого вала» применяется следующий способ. Службой БЛА готовятся ударные дроны, чтобы они переводились в рабочее состояние максимально просто. Штурмовая пехота, выходя на исходную позицию для атаки, раскладывает на грунте взятые с собой ударные дроны (более двух десятков) и включает их. Операторы БЛА подключаются к дронам с помощью направленных антенн и начинают бить по атакуемым позициям с минимальными интервалами за счет короткого подлетного расстояния, что создает эффект подавления и позволяет атакующей пехоте сблизиться с атакуемыми позициями.

Используется также тактика засады из множества дронов, когда их удается занести в тыл противника с помощью ДРГ, при этом важен выбор места, чтобы обеспечить возможность подключения операторами БЛА удаленно.

Таблица 1 — Сравнительные характеристики основных видов нано-, микро- и мини-БЛА коптерного типа

БЛА различного функционального назначения	Масса, г	Размеры в походном положении, см	Размеры в развернутом состоянии, см	Время полёта, мин	Радиус действия, км	Предельная масса ЦН, г	Камера (разрешение /зум)	Тепловизор
1	2	3	4	5	6	7	8	9
СВЕРХМАЛЫЕ (НАНО-БЛА)								
DJI Mavic Mini 1	249	14x8x6	16x20x6	30	1,5	30	12 МП1Х	нет
DJI Mavic Mini 2	249	13x8x6	24x29x6	31	4,0	30	12 МП4Х	нет
Ninox 40	250	4x22	22x20x4	40	2,5	100	2 МП2Х	нет
МАЛЫЕ (МИКРО-БЛА)								
ZALA 421-21	1500	60x60x30	60x60x30	40	3,0	300	12 МП2Х	640x480
DJI Mavic 1 Pro	734	20x8x8	Диагональ 33,5	23	5,0	600	12 МП2Х	нет
DJI Mavic 2 Enterprise Zoom	905	20x9x8	32x24x8	27	7,0	400	12 Мп6Х	нет
DJI Mavic 2 Enterprise Advance	909	20x9x8	32x24x8	27	7,0	400	48 МП32Х	640x512 9 мм 30 Гц
DJI Phantom 4	1374	Не складной	Диагональ 35	25	5,0	600	20 МП1Х	нет
Ninox 73	700	н/д	н/д	50	5,0	200	12 Мп6Х	нет
Ninox 103	1500	н/д	н/д	60	8,0	300	12 Мп6Х	нет
СРЕДНИЕ (МИНИ-БЛА)								
DJI Matrice 210	6100	72x25x24	88x89x40	25	7,0	1500	2 МП 180Х(30/6)	640x512 19-25 мм 9 Гц
DJI Matrice 300	6300	43x42x43	81x67x43	40	10,0	2700	20 МП 200Х(20/10)	640x512 19-25 мм 30 Гц
T-Motor 690	5000	Не складной	Диагональ 69	60	5,0	1500	Опционально	Опция

Проблема подавления средствами РЭБ своих дронов решается организацией «коридоров», через которые свои дроны могут пролетать к позициям противника. Частотные коридоры образуются не по плану, а хаотично. Передовые подразделения используют средства РЭБ не скоординированно, по собственному усмотрению и без уведомления подразделений БЛА. Поэтому значительное время у подразделений БЛА затрачивается на составление «карты полей РЭБ». В связи с этим актуальна задача повышения эффективности взаимодействия подразделений БЛА, РЭБ и связи по вопросам мониторинга радиоэлектронной обстановки и управления использованием радиочастотного спектра. Максимальное количество одновременной работающих расчетов БЛА доходит до 6 ударных и одного наблюдательного (ретранслирующего) дронов. Рота БЛА обычно действует в составе до 8 расчетов в полосе 2–3 км. Возникает необходимость согласования используемых радиочастот каналов управления и видеоканалов.

Затрудняет выполнение задач подразделений БЛА необходимость работы в режиме без автоматической стабилизации в условиях ветра (изменения гидрометеорологической обстановки по воздушным эшелонам) и незнакомой местности. Поэтому с оператором БЛА работает техник, который следит за работой системы управления и при необходимости, управляет направленной антенной приемопередатчика.

Связанная с предыдущей вторая задача заключается в информационном обеспечении подразделений БЛА и управлении доступом к базам данных по радиоэлектронной и гидрометеорологической обстановке, а также по оптимальным маршрутам для БЛА (дневным и ночным секторам или коридорам, свободным от воздействия радиопомех и скрытым от разведки противника).

При сопровождении штурмов с помощью БЛА используется способ «карусели» для непрерывного наблюдения за штурмом. При недостаточном количестве БЛА из-за разряда батареи может потребоваться привлечение БЛА соседних подразделений. В этом случае информация передается через офицера штаба, а не напрямую к штурмующим подразделениям. Кроме того, использование квадрокоптеров ближнего радиуса действия артиллерийскими подразделениями затруднено тем, что они находятся далеко от линии фронта, поэтому зачастую артиллерийские расчеты получают информацию для корректировки огня от «чужих» подразделений, находящихся на переднем

крае. Это приводит к задержке и искажениям в передаче информации.

Система радиоэлектронной разведки (РЭР) противника способна определять местонахождение пульта оператора БЛА по типовым и индивидуальным демаскирующим признакам (ДМП) даже в условиях сложной электромагнитной обстановки. Наиболее информативными являются ДМП расположения (локализации источников радиоизлучений) и системные признаки деятельности (периодичность, систематичность радиосигналов). Место вылета и погрузки, маршруты движения транспортных БЛА (агродронов) отслеживаются противником с помощью средств РЭР и видовой разведки. Более скрытым является применение наземных робототехнических средств (беспилотных электротележек).

При использовании тактики «кочующего миномета» расчеты ударных БЛА относительно безопасно успевают запустить 4–8 дронов с одной позиции. Учитывая длительное время подлета дрона, противник имеет возможность обнаружить местонахождение расчета БЛА и начать огонь на поражение. Чтобы затруднить разведке противника обнаружение расчета БЛА, при возвращении на стартовую позицию маршрут прокладывается через лесной участок.

Использование в системе управления дронами SIM-карт для каналов управления и видеоканалов по сетям 4G и 5G позволяет обеспечить проникновение и сохранение устойчивости управления в зданиях и защитных сооружениях.

Могут использоваться волоконно-оптические линии управления дронами, а также радиоканалы с псевдослучайной перестройкой радиочастот каналов управления, поэтому ожидается появление дронов, которые устойчивы к воздействию радиопомех и используют функции автозахвата цели с помощью машинного зрения. В связи с этим формируются специальные группы по борьбе с БЛА.

Таким образом, опыт специальной военной операции на Украине показал, что существенно увеличивается дальность и функциональность применения робототехнических комплексов военного назначения, совершенствуются способы и система управления РТК одновременно способами и средствами противодействия РТК.

Совершенствование средств РЭБ и технической компьютерной разведки, повышение возможностей по перехвату управления и блокированию каналов связи и управления обуславливают требования к надежности опознавания корреспондентов связи, операторов РТК, элементов РТК, диагностике состояния

информационно-технических средств.

В этих условиях актуальным научным направлением является исследование методологии создания оптимальных условий управления робототехническими комплексами военного назначения (РТК ВН) при выполнении боевых задач вне контролируемой зоны в условиях деструктивных внешних воздействий.

Современные боевые действия характеризуются:

- высоким уровнем интеграции цифровых информационных технологий в образцы вооружения;
- высокими сенсорными возможностями;
- высокой маневренностью;
- большой дальностью действия и точностью средств огневого поражения (ОП);
- применением противоборствующими сторонами широкой номенклатуры средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ), средств воздействия на личный состав, а также роботизированных средств, в первую очередь малогабаритных, которые значительно повышают устойчивость управления воинскими формированиями (ВФ), дальность применения и живучесть элементов боевых порядков.

В современных условиях эффективность применения средств ОП, РЭБ и роботизированных средств во многом зависит от автоматизированных систем (АС) разведки, связи и управления войсками (силами) и оружием (боевыми средствами).

АС обеспечивают выполнение боевых циклов ВФ, их эффективность в большей степени определяется уровнем автономности и интеллектуальности.

Результаты анализа показывают, что основными направлениями развития АС являются [5, 6]:

- доведение автоматизации до солдата или образца вооружения;
- предоставление полной и точной информации о действиях сторон и состоянии противника в масштабе времени, близком к реальному;
- обеспечение боевого управления силами и средствами в едином информационно-коммуникационном пространстве;
- обеспечение полной осведомленности о складывающейся боевой обстановке;
- предоставление информации в наиболее удобном для восприятия виде.
- При этом основными тенденциями развития АС ВФ являются [7]:
- создание так называемых «цифровых» (от англ. digitized – оцифрованный) или «компьютеризированных» ВФ;

- значительное удешевление проектирования и производства оборудования за счет применения технологий двойного назначения, то есть так называемых COTS-технологий (от англ. Commercial Off-The-Shelf — коммерческое с полки);
- обеспечение эволюционной модернизации в соответствии с темпами технического прогресса на основе перехода к открытым архитектурам;
- интеграция вычислительных и сетевых ресурсов разнородных АС в единую инфраструктуру;
- формирование полной и точной единой картины боевой обстановки, подготовки данных, в том числе для поражения высокоомобильных целей в режиме реального времени;
- обеспечение широкого доступа к данным единой картины боевой обстановки;
- поражение главных целей без вхождения в зону боевого соприкосновения по данным распределенной в боевом пространстве сети информационных датчиков и космических систем.

Внедрение в АС последних достижений цифровых информационных технологий (в частности роботизация), в том числе программно-определяемого (конфигурируемого) радио, искусственного интеллекта, «больших данных», позволило вывести боевые возможности ВФ на качественно новый уровень и разработать концепцию новых воинских формирований на основе автономных РТК. При этом в АС почти стерлась грань между СВТ и радиоэлектронными средствами (РЭС).

Отсутствие четкой грани приводит к необходимости использовать термин «информационно-техническое средство» (ИТС). Этот термин является собирательным и обозначает любые РЭС, СВТ, а также их конструктивно единую комбинацию в форме робототехнических комплексов [7].

ИТС выполняют в АС ВФ три класса задач: информационно-расчетные задачи (ИРЗ), задачи управления устройствами (ЗУ), а также задачи разведки, связи, РЭБ и навигационно-временного обеспечения. ИТС включает в свой состав технический компонент (ТК), включающий электронную компонентную базу и другие технические устройства, и программное обеспечение (ПО), которое, в свою очередь, делится на общее (ОПО) и специальное (СПО).

Планы DARPA Минобороны США состоят в том, чтобы к 2025 году перейти к полноценной робототехнической армии. В связи с этим обращают на себя внимание проект управления группой мобильных роботов Scout и проект группового управления мобильными роботами OFFSET, а

также проект Shooting Stars компании Intel.

Наземные роботизированные комплексы сухопутных войск, по мнению специалистов, способны решать широкий спектр задач, основными из которых являются:

- обнаружение, обследование и обезвреживание мин, фугасов и самодельных взрывных устройств;
- ведение разведки и наблюдения;
- вскрытие позиций снайперов, огневых средств, засад и систем наблюдения противника;
- обследование зданий, сооружений и отдельных объектов;
- доставка материально-технических средств по месту назначения.

В интересах минобороны США разрабатывается проект по конвергенции разных типов РТК ВН⁴. Уже апробированы опытные образцы

РТК ВН в рамках этого проекта. Новые РТК совмещают в себе БЛА, колесное шасси, средства обнаружения и поражения. Эти РТК получили еще большую автономность: они могут сами двигаться, объезжая и преодолевая препятствия, сами находить и опознавать цели. В них пока еще используется эргатическая система управления, решение на подтверждение применения средств поражения принимает оператор.

Проведено испытание действий данных РТК в составе малой группы, в которой один робот находил укрытие, делал остановку и запускал мини-дрон. Дрон разведывал область за очередной высотой и передавал данные оператору. В это время второй РТК двигался вперед. Затем они менялись местами. Когда РТК въехал в город, он обнаружил цель, а после получения разрешения от оператора открыл огонь. Алгоритм бортовой системы распознавания целей обнаружил еще один объект противника — танк. Так как цель была не в зоне поражения встроенных средств поражения, РТК загрузил данные о цели в тактическую сеть и предложил вызвать огонь артиллерии на решение оператора.

⁴Проект «Конвергенция»: военные роботы ведут охоту на танки // Иносми. 2020, 30.09.2020. Доступно по: <https://inosmi.ru/20200930/248223130.html> (дата обращения: 02.10.2024).



Рис. 4. Прототип РТК ВН США проекта «Конвергенция»

В данном РТК применяется бортовая система искусственного интеллекта, он сам распознает цель и передает только существенные детали. Тем самым, не нагружая постоянно тактическую сеть большими потоками данных, в работе которой возможны сбои из-за особенностей местности, технических неполадок и преднамеренных помех [8, 9].

Проблема развития нормативно-технической базы и разработки общей концепции построения и применения автономных РТК ВН представлена в работах [10, 11, 12].

Выводы

В результате анализа нормативных доку-

ментов, опыта применения комплексов с БЛА при выполнении различных задач по данным иностранных специалистов, а также опыта работы специалистов БЛА Вооруженных Сил Российской Федерации в ходе специальной военной операции определены основные задачи, области применения и варианты классификации БЛА. Определены основные тенденции развития групповой робототехники и связанные с ними проблемные вопросы обеспечения системности разработки тактики применения РТК ВН, вопросы классификации и разработки концепции роботизации Вооруженных Сил Российской Федерации.

Литература

1. Ананьев А.В., Иванников К.С. Петренко С.П., Филатов С.В. Модель оценки эффективности комбинированного разведывательно-ударного (огневого) контура на базе ударных беспилотных летательных аппаратов малого класса и основных средств поражения // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2021. №17. С. 10-23.
2. Воробьев А.А., Сергеев В.В. Проблемы формирования облика специализированных робототехнических комплексов // Робототехника и техническая кибернетика. 2021. № 9. С. 312-320.
3. Пономарева О.Н., Антропов Д.М., Хуснутдинов Л.З. Классификация робототехнических комплексов военного назначения: отдельные аспекты // Вестник Военного инновационного технополиса «ЭРА». 2022. Том 3. №1. С. 35-45.
4. Шайтура С.В., Байгулина И.А., Замятин П.А. Краткий анализ использования малых БПЛА в ходе специальной военной операции на Украине // Славянский форум. 2022 г. №2 (36). С. 467-498.
5. Калюжный Е.И. Основные направления совершенствования комплексов с беспилотными летательными аппаратами // Беспилотная авиация: состояние и перспективы развития: сборник пленарных докладов II Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА». 2020. С.207-212.
6. Полевой Е.В., Гудошников А.А., Найденов Д.С., Лопатин Д.С. Анализ современного состояния группировки робототехнических комплексов МЧС России // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2021. №4 (51). С. 43-53.
7. Бойко А.А. Киберзащита автоматизированных систем воинских формирований. Монография. – СПб.: Научное издание, 2021. – 300 с.
8. Воробьев А.А., Сергеев В.В., Смаилов А.К. Перспективы применения алгоритмов искусственного интеллекта при создании образцов вооружения и военной техники // Робототехника и техническая кибернетика. 2023. №11(1). С. 30-39.
9. Горский А.С., Демьянов В.В., Жуков А.О. Проблемные вопросы создания наземных робототехнических комплексов // Робототехника и техническая кибернетика. 2022. №10 (2). С. 154-160.
10. Воробьев А.А., Сергеев В.В. Проблемы формирования облика специализированных робототехнических комплексов // Робототехника и техническая кибернетика. 2021. № 9 (4). С. 312-320.
11. Анисимов Е.Г., Селиванов А.А., Ковальчук А.М., Чварков С.В. Концептуальный подход к построению эмпирических основ формирования системы робототехнических комплексов военного назначения // Вестник академии военных наук. 2022. №1 (78). С. 110-119.
12. Анисимов Е.Г., Ковальчук А.М., Романюта А.Е. Методологический подход к развитию системы робототехнических комплексов военного назначения // Вестник академии военных наук. 2022. № 1 (78). С. 110-119.

PURPOSE, GOALS, OBJECTIVES AND SCOPE OF APPLICATION OF COMPLEXES OF SMALL-SIZED UNMANNED AERIAL VEHICLES, THEIR CLASSIFICATION

Sokolov A.P.^{1.}, Ermolaev V.E.^{2.}, Khudainazarov Yu.K.^{3.}

Keywords: robotic systems, experience of a special military operation, tactics of use, classification, concept of development of RTK, information and technical means, military formations.

Abstract

The purpose of the work: consists in a comparative analysis of various types of UAVs, their characteristics and specifics of application in various fields.

Research method: the method of generalization, the method of comparison, the method of analysis, the method of classification are applied.

Results of the study: the purpose, goals, objectives and scope of application of small unmanned aerial vehicles (SUAVs) complexes are determined. The main classes of SUAVs, their features and advantages are revealed, and the classification of these devices is presented, taking into account their technical characteristics and functional purpose. General trends in robotization of military equipment, features of the use of SUAVs during a special military operation are determined. Combat use of robotic complexes (CRC), it was established that the range and functionality of the use of the CRC are significantly increased, the methods and control system of the CRC are being improved simultaneously with the methods and means of countering the CRC. The ability to intercept control and block communication and control channels is increased, which necessitates ensuring the reliability of identification of communication correspondents, CRC operators, CRC elements, and diagnosing their condition.

Scientific novelty: the current direction of scientific research on the creation of optimal conditions for the control of CRC when performing combat missions outside the controlled area in the conditions of destructive external influences is determined. The results of the study can be the basis for the analysis of the tactics of using SUAVs in various conditions and the analysis of the requirements for the modernization and development of new SUAV models, including for their group use as part of robotic complexes.

References

1. Anan'ev A.V., Ivannikov K.S. Petrenko S.P., Filatov S.V. Model' ocenki jeffektivnosti kombinirovannogo razvedyvatel'no-udarnogo (ogneвого) kontura na baze udarnyh bespilotnyh letatel'nyh apparatov malogo klassa i osnovnyh sredstv porazhenija // Vozdushno-kosmicheskie sily. Teorija i praktika. 2021. №17. S. 10-23.
2. Vorob'ev A.A., Sergeev V.V. Problemy formirovaniya oblika specializirovannyh robototekhnicheskikh kompleksov // Robototekhnika i tekhnicheskaja kibernetika. 2021. № 9. S.312-320.
3. Ponomareva O.N., Antropov D.M., Husnutdinov L.Z. Klassifikacija robototekhnicheskikh kompleksov voennogo naznacheniya: ot del'nye aspekty // Vestnik Voennogo innovacionnogo tehnopolisa «JeRA». 2022. Tom 3. №1. S. 35-45.
4. Shajtura S.V., Bajgutlina I.A., Zamjatin P.A. Kratkij analiz ispol'zovaniya malyh BPLA v hode special'noj voennoj operacii na Ukraine // Slavjanskij forum. 2022 g. № 2 (36). S. 467-498.
5. Kaljuzhnyj E.I. Osnovnye napravlenija sovershenstvovaniya kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami // Bespilotnaja aviacija: sostojanie i perspektivy razvitiya: sbornik plenarnykh dokladov II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Voronezh: VUNC VVS «VVA». 2020. S.207-212.
6. Polevoj E.V., Gudoshnikov A.A., Najdenov D.S., Lopatin D.S. Analiz sovremennogo sostojaniya gruppirovki robototekhnicheskikh kompleksov MChS Rossii // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashhity. 2021. № 4 (51). S. 43-53.
7. Bojko A.A. Kibershahita avtomatizirovannyh sistem voinskih formirovanij. Monografija. – SPb.: Naukoemkie tehnologii, 2021. – 300 s..
8. Vorob'ev A.A., Sergeev V.V., Smailov A.K. Perspektivy primeneniya algoritmov iskusstvennogo intellekta pri sozdani i obrazcov vooruzhenija i voennoj tekhniki // Robototekhnika i tekhnicheskaja kibernetika. 2023. № 11(1). S. 30-39.
9. Gorskij A.S., Dem'janov V.V., Zhukov A.O. Problemnye voprosy sozdaniya nazemnyh robototekhnicheskikh kompleksov // Robototekhnika i tekhnicheskaja kibernetika. 2022. № 10 (2). S. 154-160.
10. Vorob'ev A.A., Sergeev V.V. Problemy formirovaniya oblika specializirovannyh robototekhnicheskikh kompleksov // Robototekhnika i tekhnicheskaja kibernetika. 2021. № 9 (4). S. 312-320.
11. Anisimov E.G., Selivanov A.A., Koval'chuk A.M., Chvarkov S.V. Konceptual'nyj podhod k postroeniju jempiricheskikh osnov formirovaniya sistemy robototekhnicheskikh kompleksov voennogo naznacheniya // Vestnik akademii voennykh nauk. 2022. №1 (78). S. 110-119.
12. Anisimov E.G., Koval'chuk A.M., Romanjuta A.E. Metodologicheskij podhod k razvitiyu sistemy

¹Andrey P. Solovyov, Ph.D. student at the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E-mail: andi.10@bk.ru.

²Vladimir E. Ermolaev, Adjunct of the Department of Security of Special Purpose Information and Communication Systems, Marshal of the Soviet Union Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: Bugga876@gmail.com.

³Yuriy K. Khudainazarov, Ph.D., Doctoral Student of the Department of Security of Special-Purpose Information and Communication Systems of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E-mail: yu-78@ya.ru

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ИММИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ ПРИ ПОДГОТОВКИ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

Падишин С.А.¹, Савицкий А. Ю.²

DOI:10.21681/3034-4050-2025-1-44-51

Ключевые слова: система управления связи, организационное управление, имитационное моделирование, планирование.

Цель исследования: оценка возможностей применения имитационного моделирования в ходе организации и планирования связи при подготовке боевых операций.

Методы исследования: имитационное моделирование системы связи с ее оценкой по показателям эффективности

Результат: представлена методика применения системы имитационного моделирования в ходе организации и планирования связи при подготовке боевых операций. Прогнозирование поведения системы связи при применении имитационного моделирования позволяет разработать её «цифровой двойник» и провести тестирование по показателям устойчивости и пропускной способности, подготовить конфигурационные файлы телекоммуникационного оборудования согласно его месту в сети и значительно сократить время подготовки оборудования к обеспечению связи.

Научная новизна: исследование предлагает инновационную методику работы должностных лиц по связи, основанную на применении имитационного моделирования. Такой подход представляет возможность создать «цифровой двойник» системы связи и повысить адекватность результатов планирования и постановку задач на обеспечение связи.

Введение

В настоящее время активно проводятся исследования в области применения высокотехнологичных решений в сфере связи, позволяющих значительно повысить характеристики ее функционирования и эффективность при передаче больших объемов информации.

Одним из таких направлений стало применение имитационного моделирования как элемента системы поддержки принятия решения, позволяющее в минимальное время получать обоснованные решения в таких сложных вопросах, как проектирование применения телекоммуникационных систем, в том числе военного назначения.

В ходе имитационного моделирования одним из основных проблемных вопросов всегда является адекватность полученных результатов, так как известно, что любая модель сложной организационно-технической системы, а система связи военного назначения несомненно является такой, это материальный или абстрактный объ-

ект, имеющий сходство в определенных отношениях с оригиналом [1]. При этом, необходимо четко понимать систему ограничений и допущений, которые имеются при любом моделировании и соответственно влияют на адекватность полученных результатов. По мнению авторов, в представленном варианте применения имитационного моделирования данную проблему удалось частично решить за счет применения технологии «цифровых двойников», предписанную в стандарте³.

Организация связи с использованием имитационного моделирования

В процессе организации связи и эксплуатации цифрового оборудования возникает необходимость определения порядка планирования системы связи и снижения временных показателей для обеспечения опережающей готовности системы к обмену всеми видами информации [2]. Для выполнения задач по сокращению времени цикла управления и повышению обоснованности принимаемых решений проводятся опытно-конструкторские и научно-исследовательские

¹Падишин Сергей Александрович, профессор кафедры, кандидат военных наук, доцент Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: Chesstar@mail.ru

²Савицкий Алексей Юрьевич, адъюнкт кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: savikey7@mail.ru

³АО «ВНИИС», АО «РВК». ПНСТ 429-2020 «Цифровые двойники производства». Часть 1. Общие положения. – Москва : Стандартинформ, 2020 г.

работы, направленные на создание систем моделирования.

Формализация сложных настроек оборудования в виде документа, отражающего все нюансы его функционирования, требует значительных временных затрат, глубоких знаний и привлечения специалистов высокого уровня в различных предметных областях.

С этой целью в ходе планирования работы телекоммуникационной сети специального назначения был применен эмулятор сетевых технологий на основе виртуальной сетевой лаборатории. В лаборатории возможно моделировать работу телекоммуникационной сети, используя программные образы реального телекоммуникационного оборудования, используемого в системе связи (рис. 1).



Рис.1. Вариант применяемого в системе связи телекоммуникационного оборудования

Снижение цикла управления при планировании системы связи предложено реализовать за счет определения протоколов и алгоритмов функционирования телекоммуникационной сети, а также формирования конфигурационных файлов маршрутизаторов на этапе принятия решения об организации связи [3].

На элементах системы связи для реализации принятого решения необходимо лишь загрузить полученные конфигурационные файлы в оборудование, что не требует наличия высококвалифицированного персонала.

При существующих методах планирования связи постановка задачи на настройку телекоммуникационного оборудования осуществляется последовательно. Данный метод постановки задач обладает рядом серьезных недостатков, так как общее время на настройку и проверку готовности всего телекоммуникационного оборудования в масштабе системы связи может достигать до 7 суток.

Однако даже при таких временных затратах не всегда удается добиться реализации всех за-

планированных параметров функционирования системы связи. Это связано с тем, что последовательный метод постановки задач не учитывает возможные изменения в условиях эксплуатации и требует значительных временных затрат на проверку и корректировку настроек оборудования.

В результате, несмотря на значительные временные затраты, не всегда удается достичь полной готовности системы связи к выполнению всех запланированных функций.

Решение данной проблемы является применением имитационного моделирования.

Методика применения систем имитационного моделирования при организации связи при подготовке боевых действий

Основой имитационного моделирования является применение технологии цифровых двойников, суть которой заключается в том, что в специальной среде моделирования используются программные образы телекоммуникационного оборудования, которое применяется в ходе

обеспечения связи, такие как маршрутизаторы Дионис, Микротик, Протей и другие.

При этом программный образ полностью по своим возможностям и настройкам соответствует реальному оборудованию и позволяет использовать создаваемые конфигурационных файлы на действующих элементах системы связи.

Для сетей военной связи применение технологии цифровых двойников приобретает особое значение, так как только в виртуальной среде возможно провести сложные тонкие настройки работы оборудования, которые на реальных сетях провести или невозможно, или на это потребуется много временных и других

затрат.

Методика работы применения систем имитационного моделирования включает следующие этапы:

1. *Создание цифрового двойника сети передачи данных системы связи:*

На текущем этапе разрабатывается виртуальный прототип системы связи с применением специального оборудования и развернутых серверов (рис 2.), предназначенных для моделирования и тестирования различных сценариев [4]. Цифровой двойник должен точно воспроизводить реальные характеристики системы связи, включая её топологию, оборудование и протоколы.



Рис. 2. Состав системы имитационного моделирования

Сервер имитационного моделирования развернут на базе блейд-оборудования с оперативной памятью более 100 Гб и жестким диском объемом более 4 терабайт. Сервер состоит из четырех отдельных лезвий, на каждом из которых развернут фрагмент сетей связи группировок и армий. Также развернуты серверы системы мониторинга Zabbix, элементы межвидовой системы информационного обмена, такие как программный комплекс Лис мобильный, мессенджер ПостЛинк, тактический маршрутизатор Скарабей и АТС Протей. Используются программы имитации мультимедийного трафика [5], мониторинга и проведения компьютерных атак и др.

2. *Моделирование и тестирование:* с использованием имитационной модели проводится моделирование различных сценариев связи (рис. 3.), включая изменение нагрузки программы [6] (имитации мультимедийного трафика), отказ оборудования и воздействие внешних факторов. Это позволяет провести комплексную оценку эффективности системы связи, выявить потенциальные проблемы и уязвимости до их возникновения в реальной системе, что способствует повышению надежности и устойчивости системы связи, а также обеспечивает возможность своевременного внедрения необходимых корректировок и улучшений.

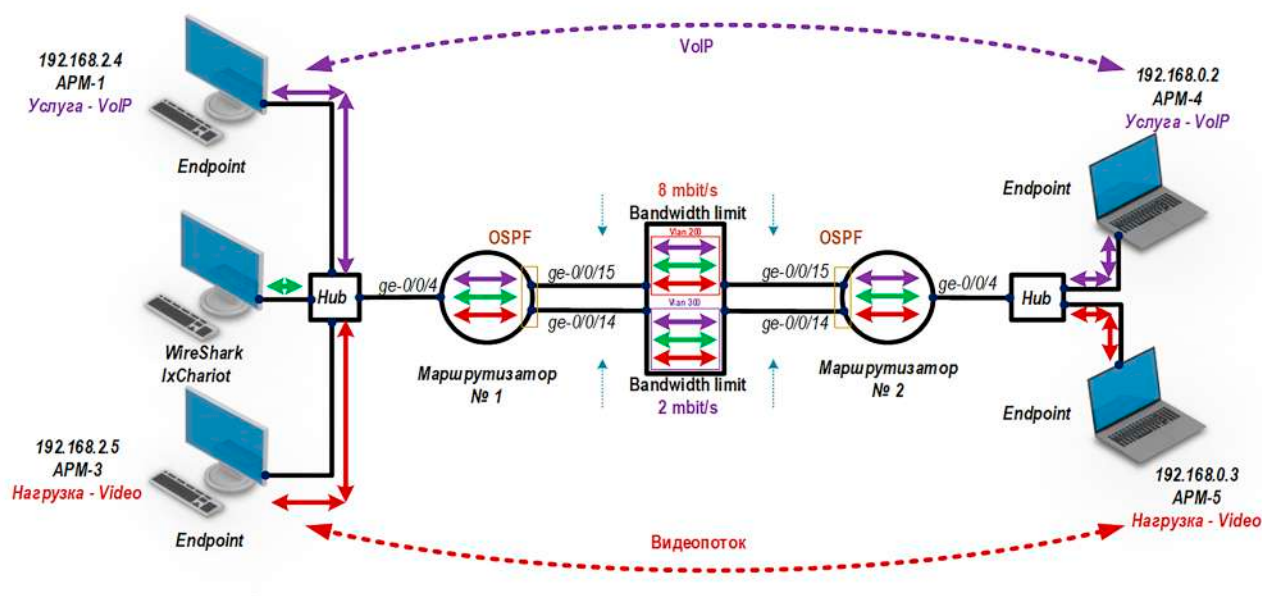


Рис.3. Схема проведения измерений

В целях проведения тестирования на «цифровом двойнике» системы связи проведён ряд измерений для оценки качества обслуживания (QoS) разнородного трафика на основе применения алгоритма поэтапного продвижения по выделенным классификационным признакам. При этом были задействованы два элемента системы связи:

1. В VLAN 200 сконфигурировано программное ограничение пропускной способности портов в 2 Мбит/с. Моделируется канал спутниковой связи.

2. В VLAN 300 сконфигурировано программное ограничение пропускной способности портов, включенных в 8 Мбит/с. Моделируется радиорелейный интервал.

Для организации объединения пропускных способностей между ними сконфигурирован протокол динамической маршрутизации OSPF и алгоритм балансировки LoadBalance.

Постановка задачи представлена в таблице 1:

трафик между APM № 1 и APM № 4 — VoIP;
трафик между APM № 3 и APM № 5 — ЗВКС;

Таблица 1 — Постановка задачи исследования

№ п/п	Endpoint 1	Endpoint 2	Тип трафика, количество потоков	Занимаемая полоса	Суммарная занимаемая полоса
1	192.168.2.4 (APM № 1)	192.168.0.2 (APM № 4)	10 VoIP потоков	64 кбит/с каждый	640 кбит/с
2	192.168.2.5 (APM № 3)	192.168.0.3 (APM № 5)	3 ЗВКС потока	2, 4, 4 Мбит/с	10 Мбит/с.

3. Анализ результатов: после проведения моделирования и тестирования (табл. 2), результаты анализируются должностными лицами по

связи (табл. 3). Определяются слабые места системы связи и предлагаются меры по их устранению.

Таблица 2 — Сводная таблица результатов экспериментов

№ п/п	Тип	Полоса пропускания (Мбит/с)	Без применения QoS		С применением QoS	
			Минимальная полоса пропускания (Мбит/с)	Процент потерь пакетов (%)	Минимальная полоса пропускания (Мбит/с)	Процент потерь пакетов (%)
1	VoIP-1	0,064	0,033	26,7	0,064	0
2	VoIP-2	0,064	0,045	14,9	0,064	0
3	VoIP-3	0,064	0,031	29,4	0,064	0
4	VoIP-4	0,064	0,051	9	0,064	0
5	VoIP-5	0,064	0,030	28,6	0,064	0
6	VoIP-6	0,064	0,029	32,5	0,064	0
7	VoIP-7	0,064	0,026	29,1	0,064	0
8	VoIP-8	0,064	0,029	30,7	0,064	0
9	VoIP-9	0,064	0,046	13,6	0,064	0
10	VoIP-10	0,064	0,037	22,4	0,064	0
11	Video-11	2	0,740	57,2	0,84	54
12	Video-2	4	2,6	28,1	2,38	37,3
13	Video-3	4	2,1	44,5	2,99	19,6

Таблица 3 — Анализ результатов

№ п/п	Тип	полоса пропускания		потери пакетов	
1	VoIP-1	48%	восстановлена	27%	снижены
2	VoIP-2	30%	восстановлена	15%	снижены
3	VoIP-3	52%	восстановлена	29%	снижены
4	VoIP-4	20%	восстановлена	9%	снижены
5	VoIP-5	53%	восстановлена	29%	снижены
6	VoIP-6	55%	восстановлена	33%	снижены
7	VoIP-7	59%	восстановлена	29%	снижены
8	VoIP-8	55%	восстановлена	31%	снижены
9	VoIP-9	28%	восстановлена	14%	снижены
10	VoIP-10	42%	восстановлена	22%	снижены
11	Video-1	12%	восстановлена	6%	снижены
12	Video-2	–9%	снижена	–25%	повышены
13	Video-3	30%	восстановлена	127%	снижены

Удалось полностью восстановить качество всех 10 генерируемых VoIP потоков. Потери пакетов в IP-телефонии — 0% отсутствуют, полоса пропускания каждого потока VoIP реализована на 100%. Закрепление полос за определёнными IP адресами позволяет формировать маршрутно-адресные таблицы для конфигурации оборудования, оперировать которыми можно, обладая базовыми навыками работы с телекоммуникационным

оборудованием. Простая прослеживаемая логика применения способа позволяет быстро находить и исправлять проблемы в сети.

4. *Планирование и постановка задач:* На основе анализа результатов моделирования и тестирования должностные лица планируют мероприятия по обеспечению связи [7] и ставят задачи подразделениям связи (рис.4.) Задачи могут включать изменения конфигурации системы связи.

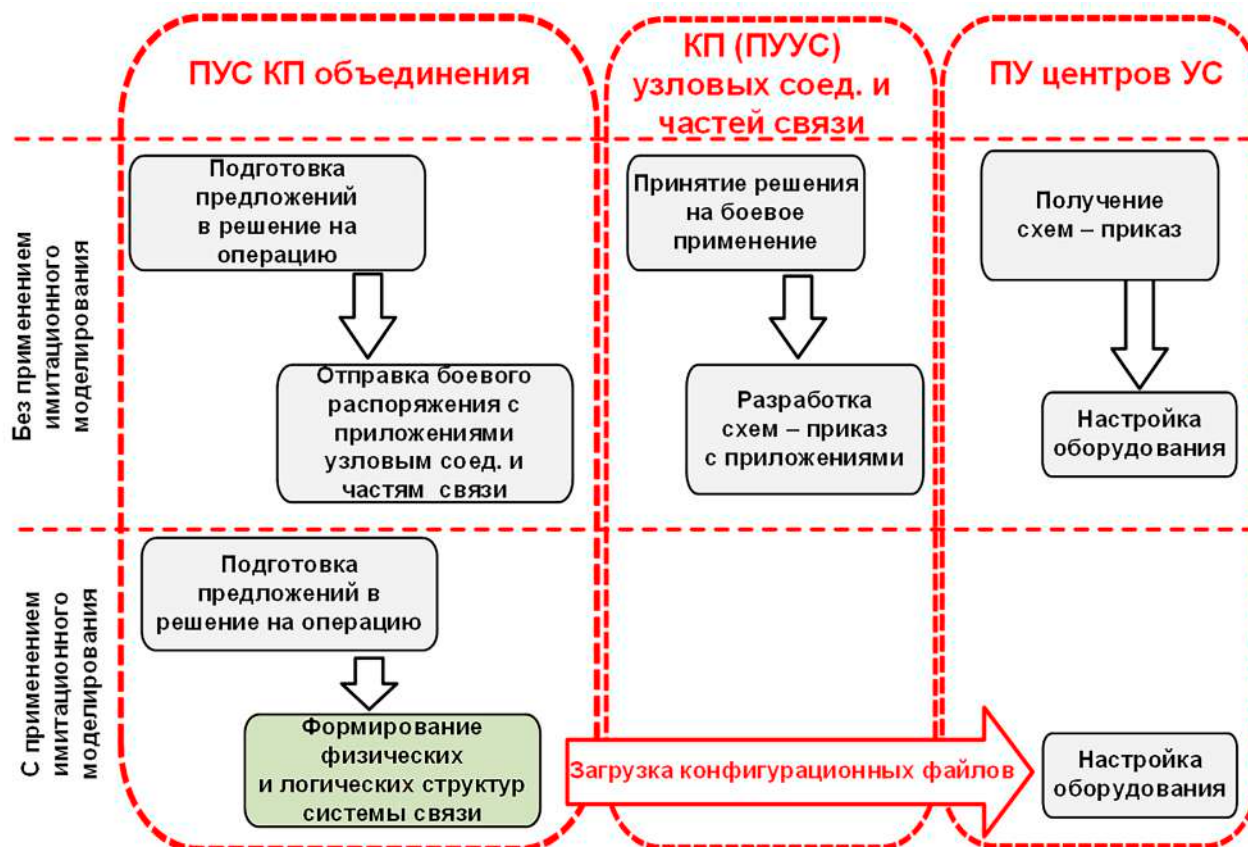


Рис. 4. Методика планирования и постановки задачи с(без) применения имитационного моделирования

Процесс имитационного моделирования включает в себя важный аспект: после завершения моделирования конфигурационные файлы виртуального оборудования переносятся на реальное оборудование, соответствующее его сетевому расположению.

В рамках имитационного моделирования выделяют четыре основных этапа: создание модели сети связи, анализ эффективности сети связи, разработка конфигурационных файлов для оборудования в виртуальной среде, перенос конфигурационных файлов с виртуального оборудования на реальное в зависимости от его сетевого местоположения.

Использование данного подхода позволяет

достичь значительных преимуществ:

1. Время, необходимое для подготовки телекоммуникационного оборудования к работе, сокращается более чем в 20 раз, причем эффект усиливается с увеличением размера сети.
2. Вероятность ошибок при настройке оборудования значительно снижается благодаря предварительному тестированию сети в имитационной модели.

5. *Мониторинг и корректировка:* после реализации плана должностные лица продолжают мониторинг с использованием программы Zabbix (рис. 5) по основным информационным направлениям.

Мониторинг состояния оборудования: Zabbix позволяет отслеживать работоспособность серверов, сетевых устройств и приложений, что помогает выявлять и предотвращать потенциальные проблемы до их возникновения.

Своевременные уведомления: система автоматически уведомляет дежурного на пункте управления о сбоях и отклонениях в работе оборудования, что позволяет быстро реагировать на внештатные ситуации.



Рис. 5. Мониторинг сети передачи данных системы связи объединения

Анализ данных: Zabbix собирает и обрабатывает большие объемы данных, что дает возможность проводить глубокий анализ работы системы и выявлять тенденции, способные привести к сбоям. Например, если время запуска сервера увеличивается, это может сигнализировать о необходимости вмешательства.

Снижение рисков: регулярный мониторинг с использованием Zabbix минимизирует риски технических сбоев и потерь, связанных с простоями оборудования или сервисов.

Таким образом, применение Zabbix для мониторинга после реализации плана обеспечивает более высокую надежность и эффективность работы информационных систем, позволяя оперативно реагировать на возникающие проблемы и оптимизировать процессы управления.

Выводы

В процессе исследования системы управ-

ления объединения и методики работы должностных лиц по связи, мы использовали комплексный подход: моделирование и тестирование систем связи, которые играют ключевую роль в их разработке и эксплуатации. Эти методы, включая имитационное моделирование, позволяют провести комплексную оценку эффективности системы, выявить потенциальные проблемы и уязвимости до их возникновения в реальной системе. Это способствует повышению надежности и устойчивости системы связи, обеспечивая ее бесперебойную работу и своевременное внедрение необходимых корректировок и улучшений. Имитационное моделирование помогает определить слабые места и принять меры для их устранения, что особенно важно для предотвращения критических сбоев и обеспечения стабильной работы системы связи в условиях изменяющихся нагрузок и внешних воздействий.

Литература

1. Сызранцев Г. В., Ермишян А. Г., Лукин К. И., Федулов А. В. Теоретические и научно-практические основы построения систем связи специального назначения. – Москва: Горячая Линия - Телеком, 2023. – 376 с.
2. Иванов В. Г., Лукьянчик В. Н. Об эволюции теории и практики построения существующих систем связи военного назначения на основе создания мультитоконвергентной системы связи группировки войск (сил) на театре военных действий // Военная мысль. 2021г. № 1 – С. 66–79.
3. Падишин С.А., Сазыкин А.М., Даньшин С.С., Грищенко К.А. Имитационное планирование системы связи специального назначения на основе применения технологии цифровых двойников. Вопросы оборонной техники. – 2022. № 16. – С. 48–55.

4. Копичев О. А., Николаев А. Е. Современные войны: анализ тенденций развития межгосударственного противоборства, классификация форм и способов борьбы, формирование признаков и критериев военного конфликта // Системы управления, связи и безопасности. – 2021. – № 1. – С. 1–32.
5. Грищенко К.А. Способ построения цифрового двойника сети связи // Вопросы радиоэлектроники. Серия: техника телевидения. – 2023. – № 4– С. 54–61.
6. Падишин С.А., Литвинов А.И., Манаков К.О., Шешуков А.С., Курочка В.А. Имитационное планирование системы связи объединения на основе применения виртуальной сетевой лаборатории EVE-NG. Известия РАРАН. Выпуск 5 (115), СПб.: РАРАН, 2020 г., 148-157 с.
7. Иванов В. Г. Основы построения и оценки эффективности функционирования системы связи специального назначения в международном вооруженном конфликте на основе многосферной и конвергентной структуры ее элементов: Монография. – СПб.: ПОЛИТЕХ, 2023. – 298 с.

WORK METHODOLOGY OF OFFICIALS OF THE UNION OF THE REPUBLIC OF BELARUS USING A DIGITAL TWIN

Padishin S.A.¹, Savitsky A.Yu.²

Keywords: communication management system, organizational management, operational and technical management, technological management, planning.

The objective of the study: to assess the possibilities of using simulation modeling in the organization and planning of communications in the preparation of combat operations.

Research methods: simulation modeling of the communications system with its assessment by performance indicators

Result: The study presents a methodology for using the simulation modeling system in the organization and planning of communications in the preparation of combat operations. Forecasting the behavior of the communications system when using simulation modeling allows you to develop its "digital twin" and conduct testing according to stability and throughput indicators, prepare configuration files for telecommunications equipment, according to its place in the network and significantly reduce the time it takes to prepare equipment to provide communications.

The scientific novelty of the study offers an innovative methodology for the work of communications officials based on the use of simulation modeling. This approach provides an opportunity to create a "digital twin" of the communications system and improve the adequacy of planning results and setting tasks for providing communications.

References

1. Syzrantsev G. V., Ermishyan A. G., Lukin K. I., Fedolov A. V. Theoretical and scientific-practical foundations for building special-purpose communication systems. - Moscow.: Goryachaya Liniya-Telecom, 2023 – 376 p.
2. Ivanov V. G. On the evolution of the theory and practice of building existing military communication systems based on the creation of a multi-convergent communication system for a grouping of troops (forces) in a theater of military operations. /Ivanov V. G., Lukyanchik V. N. Military Thought No. 1. 2021. - P. 66-79.
3. Padishin S. A., Sazykin A. M., Danshin S. S., Grishchenko K. A. Simulation planning of a special-purpose communication system based on the use of digital twin technology. Issues of defense equipment. – 2022. No. 16. – P. 48–55.
4. Kopichev O. A., Nikolaev A. E. Modern wars: analysis of interstate confrontation development trends, classification of forms and methods of struggle, formation of signs and criteria of military conflict // Control, communications and security systems. – 2021. – No. 1. – P. 1–32.
5. Grishchenko K. A. Method for constructing a digital twin of a communication network. // Issues of radio electronics. series: television technology – 2023. – No. 4– P. 54–61.
6. Padishin S. A., Litvinov A. I., Manakov K. O., Sheshukov A. S., Kurochka V. A. Simulation planning of an association communication system based on the use of the EVE-NG virtual network laboratory. Izvestiya RARAS. Issue 5 (115), St. Petersburg: RARAS, 2020, 148-157 pp.
7. Ivanov V. G. Fundamentals of construction and assessment of the efficiency of functioning of a special-purpose communication system in an international armed conflict based on the multi-sphere and convergent structure of its elements: Monograph. - St. Petersburg: POLYTECH, 2023. - 298 p.

¹Sergey A. Padishin, Ph.D., Professor of the Department of Communications the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: Chesstar@mail.ru

²Alexey Yu. Savitsky, Adjunct of the Department of Communications of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: savialexey7@mail.ru

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ LI-FI НА УЗЛАХ СВЯЗИ ПУНКТОВ УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Прядкин А.М.¹, Заикин Р.В.², Лукьянчик В.Н.³

DOI: 10.21681/3034-4050-2025-1-52-59

Ключевые слова: оптическая передача данных, системы связи, управление, пропускная способность, оптические передатчики, локальные сети, разведзащищенность.

Цель работы заключается в проведении анализа применения технологии Li-Fi, рассмотрении её преимуществ, недостатков и особенностей реализации, обосновании целесообразности её применения на узлах связи, а также в проведении расчетов и получении теоретического значения пропускной способности при передаче данных с использованием данной технологии.

Метод исследования: сбор и анализ данных из литературы и интернет-ресурсов, сравнительный анализ, выполнение расчетов, описание, выработка предложения по применению средств, реализующих технологию Li-Fi.

Результаты исследования: были рассмотрены принцип работы, преимущества, недостатки, особенности и варианты реализации, а также сферы применения технологии Li-Fi, проведена сравнительная характеристика со схожей технологией Wi-Fi, представлены различные существующие передатчики и приемники, используемые в Li-Fi, исследован вопрос безопасности информации, передаваемой через оптический канал связи, изучена возможность использования оптической передачи данных на узлах связи, проведены математические расчеты и получено теоретическое значение пропускной способности при передаче данных с помощью технологии Li-Fi. Сделаны выводы об эффективности и целесообразности её применения на узлах связи.

Практическая полезность заключается в том, что приведен обзор технологии Li-Fi, который может оказаться полезным при изучении средств и способов передачи данных, при рассмотрении вариантов построения локальных сетей, а также при решении задач, связанных с передачей данных посредством световых волн.

Введение

Опыт военных конфликтов 21 века показывает, что осуществляются эволюционные изменения в развитии пунктов управления и их узлов связи, в первую очередь это связано с необходимостью повышения их разведзащищенности, мобильности, простоты и удобства развертывания и эксплуатации, а также обеспечения высокой пропускной способности, обеспечивающей предоставление требуемого количества современных услуг связи [1]. Узлы связи являются составной частью пункта управления, и, следовательно, от их функционирования зависит устойчивость его функционирования и обеспечение требуемого информационного обмена. Согласно [1] применяемые в настоящее время средства связи, реализующие проводные и беспроводные технологии, не обеспечивают высокую скорость передачи, надежность и безопасность. Решением этой

проблемы может стать применение технологии Li-Fi, которая гармонично сочетает в себе многие достоинства.

Li-Fi (Light Fidelity) — технология беспроводной передачи данных посредством света видимого диапазона от 400 до 800 ТГц. Впервые термин был применен Харальдом Хаасом во время конференции TED Talk в 2011 году [2]. Передача данных осуществляется с помощью бытовых светодиодных ламп, оснащенных специальным чипом, который модулирует свет. Светодиоды имеют возможность быстро включаться и выключаться, что и создает последовательность нулей и единиц, распознаваемых приемником [3,4]. В самом простом случае система Li-Fi состоит из двух основных элементов:

- белый светодиод высокой яркости, который является передатчиком;
- кремниевый фотодиод, способный различать

¹Прядкин Андрей Михайлович, адъюнкт кафедры боевого применения войск связи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: tbiinovspb28@mail.ru

²Заикин Руслан Валерьевич, курсант факультета АСУ Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: rus.zaikin.03@mail.ru

³Лукьянчик Валентин Николаевич, кандидат военных наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: v-lukyanchik@bk.ru

видимый свет, являющийся приемником.

Помимо простейшего белого светодиода в качестве передатчика могут использоваться:

1. RGB — диоды (рис.1);



Рис. 1. RGB — диоды

2. Голубые диоды с фосфорным напылением (рис. 2);



Рис. 2. Голубой диод с фосфорным напылением

3. RGB — лазеры (рис.3).

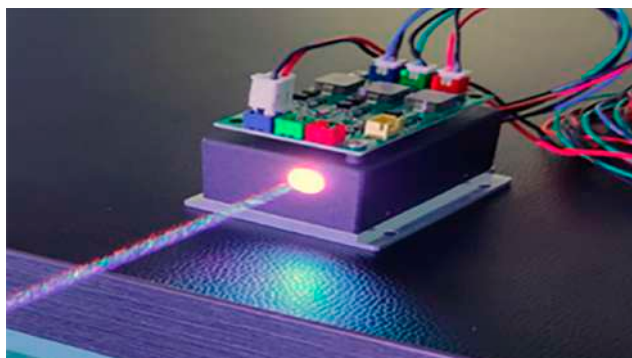


Рис. 3. RGB – лазер

В качестве приемников используются различные оптические модули в различных исполнениях (рис. 4).



Рис. 4. Оптические приемники технологии Li-Fi

Вариант применения оборудования технологии Li-Fi представлен на рис. 5.

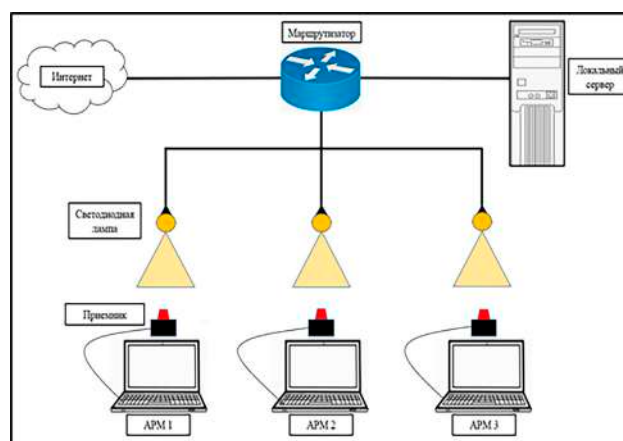


Рис. 5. Вариант применения технологии Li-Fi

Технология обладает существенным преимуществом перед технологией Wi-Fi в виде высокой скорости передачи данных до 224 Гбит/с, что делает ее отличным решением в случаях, требующих высокой пропускной способности, таких как передача больших массивов данных, организация видеоконференцсвязи и т. д. К тому же в Li-Fi для передачи данных применяется видимый свет, следовательно полностью отсутствуют электромагнитные излучения и помехи, при этом Wi-Fi использует радиоволны и помимо создания помех еще и легко обнаруживается радиоэлектронной разведкой противника. Еще одним из плюсов технологии Li-Fi является безопасность при передаче данных, так как свет не распространяется через стены, и получить доступ к информации могут только лица, непосредственно

находящиеся в помещении, где функционирует Li-Fi система. Ко всем преимуществам можно отнести низкую стоимость, простоту реализации, отсутствие разрешений на использование частот и многое

другое. Минусами технологии являются необходимость прямой видимости между приемником и передатчиком, подверженность большому количеству ошибок при работе на солнечном свете [4].

Постановка задачи

Таблица 1 — Сравнение параметров технологий Li-Fi и Wi-Fi

Параметр	Li-Fi	Wi-Fi
Скорость передачи данных, (Гбит/с)	до 224	до 1,3 (стандарт 802.11ac)
Дальность действия, м	до 10	до 100
Безопасность передаваемых данных	Высокая	Низкая
Рабочие частоты, ГГц	$400 \times 10^3 - 800 \times 10^3$	2,4; 5; 6
Помехозащищенность	Высокая	Низкая
Стоимость	Низкая	Низкая
Факторы, влияющие на качество/скорость передачи	Солнечный свет, прямая видимость между приемником и передатчиком	Устройства, работающие в том же частотном диапазоне

Анализ данных, представленных в таблице 1, позволяет сделать вывод, что Li-Fi обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогичным Wi-Fi, а именно более высокой скоростью передачи, помехо- и разведзащищенностью, из недостатков стоит выделить ограниченный радиус действия и зависимость от солнечного света, также в настоящее время оборудование Li-Fi не обладает таким же количеством моделей, по сравнению с Wi-Fi, поэтому поиск и приобретение таких систем пока затруднен, по прогнозам специалистов, еще несколько лет [2, 5].

В настоящее время существует множество возможных вариантов применения технологии Li-Fi, а именно:

- подводная связь — именно свет, способный распространяться под водой, может позволить различным аппаратам связываться друг с другом и передавать необходимую информацию;
- связь между автомобилями — транспортные средства могли бы связываться между собой посредством фар для повышения безопасности дорожного движения;
- коммуникации в районах со сложной электромагнитной обстановкой — в случаях, когда задействовано большое количество радиочастот и есть вероятность многократных коллизий Li-Fi может стать отличным решением;

- Автоматизация домов и зданий — сочетая в себе высокую пропускную способность, безопасность, простоту и удобство, данная технология вполне может заменить привычный Wi-Fi.

Следовательно, технология Li-Fi обладает большим количеством преимуществ, которые могли бы позволить этой технологии использоваться на узлах связи для различных целей. Технология может быть рассмотрена как замена или дополнение к существующим проводным и беспроводным средствам коммуникации на развешиваемых полевых и стационарных узлах связи.

Li-Fi может использоваться на узлах связи специального назначения для создания локальной сети пункта управления, между компьютерами должностных лиц и такими устройствами, как принтеры и серверы. Учитывая то, что технология объединяет в себе функции освещения и системы передачи данных, данное решение может сократить время на установку, по сравнению с привычными проводными или беспроводными средствами. Путем введения технологии Li-Fi на узлы связи мы получаем следующие преимущества:

- высокая скорость передачи данных, вплоть до 224 Гбит/с при оптимальных условиях;
- независимость от системы РЭБ и РЭР противника;

- низкая стоимость, простота установки и эксплуатации;
- высокая безопасность передаваемых данных;
- отсутствие воздействия на союзные средства связи.

Помешать работоспособности узлов связи с использованием этой технологии может воздействие яркого солнечного света, но с уче-

том опыта специальной военной операции узлы связи располагаются, как правило, в подвальных помещениях, бункерах, палатках, где наличие естественного света практически исключено, поэтому использование Li-Fi будет не только эффективным, но и эффективным. Вариант реализации системы Li-Fi при размещении узлов связи в подвальных помещениях показан на рисунке 6.

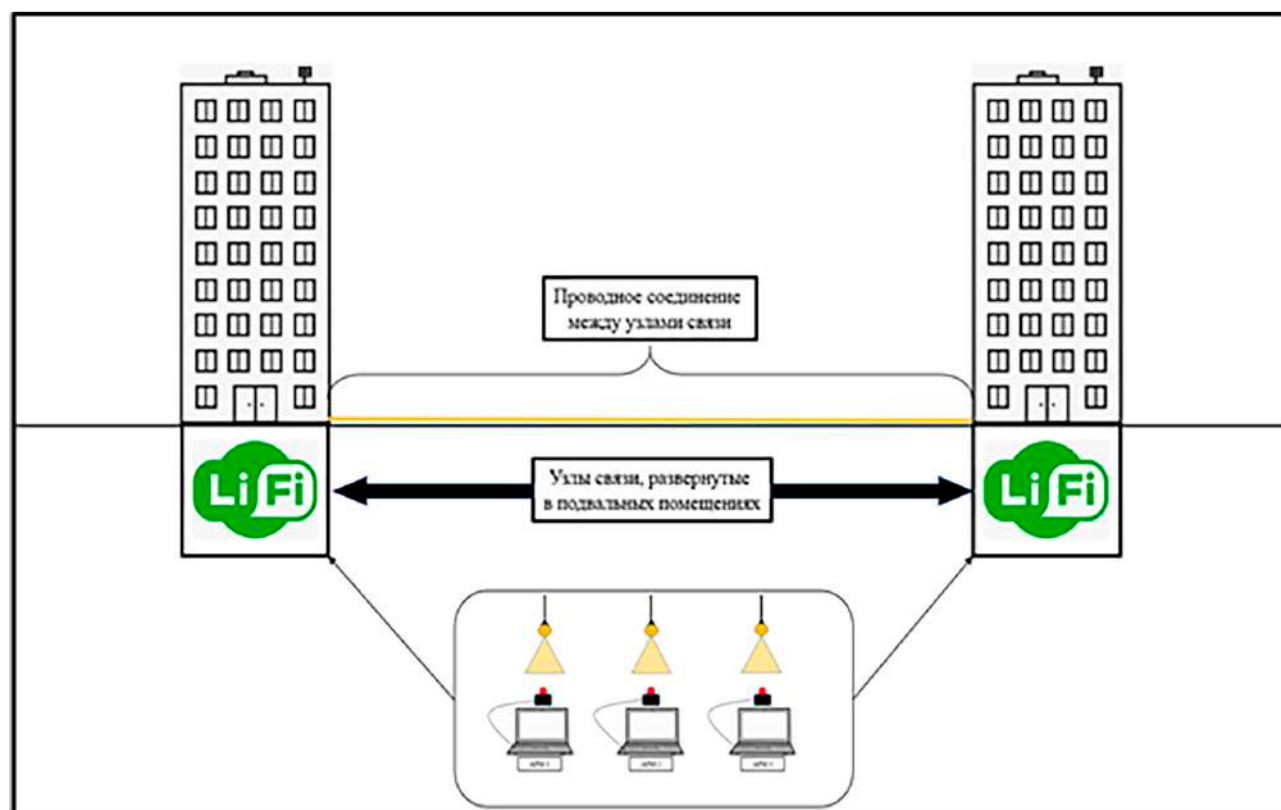


Рис. 6. Вариант реализации технологии Li-Fi при развертывании узлов связи в специальных защищенных помещениях

К минусам технологии относится необходимость в прямой видимости между передатчиком и приемником, что можно без особых усилий обеспечить при нахождении на узле связи. Помимо этого, технология Li-Fi могла бы пригодиться и в различных аппаратных связях, выполняющих функции подвижных пунктов управления, так как в таком случае также необходимы безопасность и быстрая скорость передачи данных, и все также можно создать условия для оптимальной работы Li-Fi-систем.

Из вышесказанного можно сказать, что технология Li-Fi может стать дополнением к привычным способам передачи данных, имеющихся

на узлах связи, или даже полностью заменить их в отдельных случаях.

После анализа необходимо получить теоретическое значение, в качестве искомого определим величину пропускной способности, так как она является самой интересной среди преимуществ рассматриваемой технологии. При расчетах следует обратить внимание на множество факторов, которые влияют на качество и скорость передачи данных, но при этом некоторые из них придется опустить, так как просчитать их влияние не представляется возможным, однако полученное значение будет приблизительным и от него можно будет отталкиваться в дальнейших исследованиях.

Решение задачи

В целях определения пропускной способности при передаче данных с помощью технологии Li-Fi разработана следующая последовательность. Согласно теореме Шеннона–Хартли, пропускная способность C равна средней мощности сигнала S , который можно передать через аналоговый канал связи, подверженный аддитивному белому гауссовскому шуму N (1):

$$C = B \times \log_2 \left(1 + \frac{C}{N} \right), \quad (1)$$

где C — пропускная способность канала, бит/с; B — полоса пропускания, Гц; S — полная мощность сигнала в полосе пропускания, Вт; N — полная шумовая мощность в полосе пропускания, Вт.

В технологиях, основанных на применении видимого света для передачи данных, используются светодиоды, в которых получение белого света получается путем смешивания трех цветов — синего, зеленого и красного. Технология Li-Fi позволяет передавать данные параллельно по каждому из каналов, следовательно, общая полоса пропускания есть сумма полос пропускания синего, красного и зеленого цветов (2):

$$B = B_B + B_R + B_G. \quad (2)$$

Учитывая то, что спектральные диапазоны частот для синего, красного и зеленого цветов составляют 60, 80 и 70 ТГц соответственно, получаем (3):

$$B = 60 + 70 + 80 = 210 \text{ ТГц}. \quad (3)$$

Мощность сигнала, то есть световая мощность, оценивается в данном случае световым потоком Φ , значит, за исходное значение светового потока Φ_0 возьмем значение начального светового потока светодиодной лампы Ecola Light GX53 LED, которая по характеристикам приближена к лампам, используемым в технологии Li-Fi (4):

$$S_0 = \Phi_0 = 920 \text{ лм}, \quad (4)$$

где S_0 — начальная мощность сигнала, Φ_0 — начальное значение светового потока, лм.

Учитывая шумы, которыми являются естественное и искусственное освещение, отражение света поверхностями, а также загазованность и запыленность среды передачи данных. Их влияние можно оценить по уровню освещенности E , которая равна световому потоку, падающему на участок поверхности малой единичной площади (5):

$$E = \frac{d\Phi}{d\sigma}, \quad (5)$$

где σ — участок поверхности.

Исходное значение светового потока Φ_0 может быть выражено в люксах (6):

$$E_0 = \frac{\Phi_0}{I}, \quad (6)$$

где E_0 — начальное значение освещенности, лк.

Освещенность прямо пропорциональна силе света источника света, при этом она уменьшается пропорционально косинусу угла падения лучей. Тогда освещенность E от точечного источника можем измерить по формуле (7):

$$E = \frac{I}{r^2} \times \cos(i), \quad (7)$$

где I — сила света, кд; r — расстояние до источника света, м; i — угол падения лучей света относительно нормали к поверхности, рад.

Узнав исходное значение светового потока, можем определить силу света, которая, как известно, из определения равна (8):

$$I = \frac{\Phi_0}{\omega}, \quad (8)$$

где ω — телесный угол, ср. Учитывая, что телесный угол при вершине прямого кругового конуса с углом раствора α равен (9):

$$\omega = 2\pi \times \cos(\alpha), \quad (9)$$

где α — угол раствора конуса.

Для приблизительного расчета силы света в канделях подставим получившуюся формулу в предыдущую (10):

$$I = \frac{\Phi_0}{2\pi \times \cos(\alpha)}. \quad (10)$$

Стоит учесть, что свет распространяется равномерно во все стороны, то есть имеет ламбертовскую диаграмму направленности, а телесный угол 4π ср. С учетом погрешности и шумов для более точного расчета возьмем силу света выбранной светодиодной лампы, равную половине от заявленного, то есть 460 лм.

Также важно определить зависимость мощности света передатчика технологии Li-Fi в той или иной точке от расстояния и угла до принимающего оборудования по формуле (11):

$$S_n = \frac{I \times \cos(i_n)}{r_n^2}, \quad (11)$$

где r_n — расстояние между передатчиком и приемником, м; i_n — угол падения лучей света относительно нормали, рад; n — номер эксперимента, соответствующий определенным заранее условиям среды передачи данных.

Рассчитаем мощность шума N , зная, что она является суммой естественной искусственной и отраженной освещенностей (12):

$$N = E_{\text{окр}} = E_{\text{ест}} + E_{\text{иск}} + E_{\text{отр}} = \frac{I_{\text{ест}}}{r_{\text{ест}}^2} \times \cos(i_{\text{ест}}) + \frac{I_{\text{иск}}}{r_{\text{иск}}^2} \times \cos(i_{\text{иск}}) + \frac{I_{\text{отр}}}{r_{\text{отр}}^2} \times \cos(i_{\text{отр}}), \quad (12)$$

где $E_{\text{окр}}$ — освещенность от внешних источников, лк; $E_{\text{ест}}$ — освещенность от естественных источников, лк; $E_{\text{иск}}$ — освещенность от искусственных источников света, лк; $E_{\text{отр}}$ — отраженная освещенность, лк; $I_{\text{ест}}$ — сила света от естественных источников света, кд; $r_{\text{ест}}$ — расстояние до естественных источников света, м; $i_{\text{ест}}$ — угол падения лучей естественных источников света относительно нормали к поверхности, рад; $I_{\text{иск}}$ — сила света от искусственных источников света, кд; $r_{\text{иск}}$ — расстояние до искусственных источников света, м; $i_{\text{иск}}$ — угол падения лучей искусственных источников света относительно нормали к поверхности, рад; $I_{\text{отр}}$ — сила отраженного света, кд; $r_{\text{отр}}$ — расстояние до источника отраженного света, м; $i_{\text{отр}}$ — угол падения лучей отраженного света относительно нормали к поверхности, рад.

В качестве отраженной освещенности возьмем значение, равное половине искусственной освещенности (13):

$$E_{\text{отр}} = \frac{E_{\text{иск}}}{2}. \quad (13)$$

Подставив все полученные данные в формулу расчета пропускной способности, получим (14):

$$C_n = (B_B + B_R + B_G) \times \log_2 \left(1 + \frac{I \times \cos(i_n)}{(E_{\text{ест}} + E_{\text{иск}} + E_{\text{отр}}) \times r_n^2} \right). \quad (14)$$

В нашем случае с использованием светодиодной лампы белого света и с учетом того, что за силу искусственного освещения на узле связи взято значение 400 кд, а за величину естественного освещения, которое на современных узлах связи стремится к минимуму, возьмем значение 50 кд, на расстоянии 20 м по линии

прямой видимости можно достичь следующей теоретической пропускной способности (15):

$$C = (60 + 70 + 80) \times 10^{12} \times \log_2 \left(1 + \frac{460 \times \cos(0)}{(400 + 200 + 50) \times 400} \right) = 535,5 \text{ Гбит/с}. \quad (15)$$

Выводы

Важно понимать, что данное значение является теоретическим и может оказаться как больше, так и меньше ввиду различных факторов, таких как запыленность и загрязненность, влияние которых не учитывалось, различных значений искусственной и естественной освещенности и т. д.

Но при этом от этого значения вполне можно отталкиваться в дальнейших опытах, причем оно получилось приемлемым, мало какие технологии могут похвастаться такой пропускной способностью.

Технология Li-Fi может стать поистине прорывом в области передачи данных и эффективным средством доставки информации на узлах связи. На данный момент открыто множество вариантов применения, и, следует полагать, что это не конец различным решениям. При этом надо понимать, что Li-Fi может применяться не всегда и не везде из-за определенных ограничений, она будет практически неприменима на открытой местности, в местах, где присутствует высокая запыленность и большое количество солнечного света, но при этом она будет весьма эффективна в закрытых помещениях, где практически исключены эти факторы.

В статье авторами были произведены анализ технологии Li-Fi, ее преимуществ, недостатков и особенностей реализации, сравнительная характеристика с технологией Wi-Fi, возможные варианты применения, обоснована актуальность использования на узлах связи и произведен расчет теоретической пропускной способности по оптическому каналу связи.

Литература

1. Иванов В. Г. Основы построения и оценки эффективности функционирования системы связи специального назначения в международном вооруженном конфликте на основе многосферной и конвергентной структуры ее элементов: Монография. — СПб.: ПОЛИТЕХ, 2023. — 298 с.
2. Олифер, В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Олифер, Н. Олифер. — СПб.: Питер, 2024. — 1008 с.
3. Алексеев, Д. А. Li-Fi — прорыв в науке или бесполезная игрушка? Преимущества и недостатки Li-Fi перед Wi-Fi / Д. А. Алексеев, В. В. Ермолаева. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 11 (91). — С. 161–164. — URL: <https://moluch.ru/archive/91/19744/> (дата обращения: 07.11.2024).
4. Швырев Б. А., Тимонов Д. А. Анализ беспроводных коммуникационных технологий в видимом диапазоне света // Международный журнал гуманитарных и естественных наук, 2020 . № 6-2 (45).

5. Степанян Н. Э. Анализ развития технологии Li-Fi и перспективы её применения в концепции "Умный город" / Н. Э. Степанян // Концепция развития и эффективного использования научного потенциала общества: Сборник статей Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Калуга, 19 мая 2020 года. Том Часть 1. – Калуга: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2020. – С. 95–98. – EDN AENMWV.
6. Морозов, Д. А. Анализ перспектив использования технологии Li-Fi для создания сетей доступа / Д. А. Морозов, В. В. Антонов // Студенческая наука - для развития информационного общества: Сборник научных трудов по материалам XIV Всероссийской научно-технической конференции, Ставрополь, 18 мая 2023 года. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2023. – С. 65–68. – EDN NLHQPJ.
7. Хаас Х., Димитров С. Принципы светодиодных световых коммуникаций: на пути к сетевому Li-Fi. 2015. Cambridge University Press (UK). ISBN: 978-1107049420
8. Басыров, Н.И. Энергопотребление IoT-устройств: сравнительный анализ сетей Wi-Fi и Li-Fi / Н. И. Басыров, В. Н. Невзоров // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых: Сборник научных статей 5-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок. В 4-х томах, Курск, 29 ноября 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 47–51. – EDN KNPTMT.
9. Гурнов, К. Б. Исследование технологии Li-Fi / К. Б. Гурнов, Б. В. Давидович // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах 23: Сборник докладов Третьей Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 10–17 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 25–28. – DOI 10.31799/978-5-8088-1824-8-2023-3-25-28. – EDN HHJYPZ.
10. Сушко, Р. Е. Технология Li-fi и её сферы применения / Р. Е. Сушко // Форум молодых ученых. – 2021. – № 6(58). – С. 712–715. – EDN EBKRLV.
11. Пирогов Р. Перспективы использования технологии Li-Fi в аспекте обеспечения информационной безопасности / Р. Пирогов // Collegium Linguisticum-2023: Сборник статей Ежегодной конференции Студенческого научного общества МГЛУ, Москва, 15–17 марта 2023 года / Отв. редактор О.К. Ирисханова, отв. секретарь М.В. Попова [и др.]. – Москва: Московский государственный лингвистический университет, 2023. – С. 740–746. – EDN RVOLBC

POSSIBILITIES OF USING LI-FI TECHNOLOGY AT COMMUNICATION NODES OF SPECIAL-PURPOSE CONTROL POINTS

Pryadkin A.M.¹, Zaikin R.V.², Lukyanchik V.N.³

Keywords: optical data transmission, communication systems, control, bandwidth, optical transmitters, local networks, intelligence security.

The purpose of the work is to analyze the use of Li-Fi technology, consider its advantages, disadvantages and implementation features, substantiate the expediency of its use at communication centers, as well as to calculate and obtain a theoretical value of bandwidth when transmitting data using this technology.

Research method: collection and analysis of data from literature and Internet resources, comparative analysis, calculations, description, development of proposals for the use of means implementing Li-Fi technology.

Results of the study: the principle of operation, advantages, disadvantages, features and implementation options, as well as the scope of application of Li-Fi technology were considered, a comparative characteristic with a similar Wi-Fi technology was carried out, various existing transmitters and receivers used in Li-Fi were presented, the issue of security of information transmitted through an optical communication channel was investigated, the possibility of using optical data transmission at communication nodes was studied. mathematical calculations were carried out and the theoretical value of the bandwidth during data transmission using Li-Fi technology was obtained. Conclusions are made about the effectiveness and expediency of its use at communication centers.

Practical usefulness lies in the fact that an overview of Li-Fi technology is given, which can be useful in studying the means and methods of data transmission, when considering options for building local networks, as well as in solving problems related to data transmission by means of light waves.

¹Andrey M. Pryadkin, adjunct of the Department of Combat Use of Signal Troops of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: tbinovspb28@mail.ru

²Ruslan V. Zaikin, cadet of the Faculty of Automated Control Systems of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: rus.zaikin.03@mail.ru

³Valentin N. Lukyanchik, Ph.D., Associate Professor, Senior Researcher of the Scientific 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

References

1. Ivanov V. G. Osnovy postroenija i ocenki jeffektivnosti funkcionirovanija sistemy svjazi special'nogo naznachenija v mezhdunarodnom vooruzhenom konflikte na osnove mnogosfernoj i konvergentnoj struktury ee jelementov: Monografija. – SPb.: POLITEH, 2023. – 298 s.
2. Olifer, V. Komp'juternye seti. Principy, tehnologii, protokoly / V. Olifer, N. Olifer. – SPb.: Piter, 2024. – 1008 s.
3. Alekseev D. A. Li-Fi — proryv v nauke ili bespoleznaja igrushka? Preimushhestva i nedostatki Li-Fi pered Wi-Fi / D.A. Alekseev, V.V. Ermolaeva. — Tekst: neposredstvennyj // Molodoj uchenyj. — 2015. — № 11 (91). — S. 161–164. — URL: <https://moluch.ru/archive/91/19744/> (data obrashhenija: 07.11.2024).
4. Shvyrev B. A., Timonov D. A. Analiz besprovodnyh kommunikacionnyh tehnologij v vidimom diapazone sveta. Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk № 6-2 (45), 2020 g.
5. Stepanjan, N. Je. Analiz razvitija tehnologij Li - Fi i perspektivy ejo primenenija v koncepcii "Umnyj gorod" / N. Je. Stepanjan // Koncepcija razvitija i jeffektivnogo ispol'zovanija nauchnogo potenciala obshhestva: Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. V 2-h chastjah, Kaluga, 19 maja 2020 goda. Tom Chast' 1. – Kaluga: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "OMEGA SAJNS", 2020. – S. 95–98. – EDN AENMWV.
6. Morozov, D. A. Analiz perspektiv ispol'zovanija tehnologij Li-Fi dlja sozdanija setej dostupa / D. A. Morozov, V. V. Antonov // Studencheskaja nauka - dlja razvitija informacionnogo obshhestva: Sbornik nauchnyh trudov po materialam XIV Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Stavropol', 18 maja 2023 goda. – Stavropol': Severo-Kavkazskij federal'nyj universitet, 2023. – S. 65–68. – EDN NLHQPJ.
7. Haas H., Dimitrov S. Principy svetodiodnyh svetovyh kommunikacij: na puti k setevomu Li-Fi. 2015. Cambridge University Press (UK). ISBN: 978-1107049420
8. Basyrov N.I. JenerGOPotreblenie IoT-ustrojstv: sravnitel'nyj analiz setej Wi-Fi i Li-Fi / N. I. Basyrov, V. N. Nevzorov // Innovacionnyj potencial razvitija obshhestva: vzgljad molodyh uchenyh: Sbornik nauchnyh statej 5-j Vserossijskoj nauchnoj konferencii perspektivnyh razrabotok. V 4-h tomah, Kursk, 29 nojabrja 2024 goda. – Kursk: ZAO "Universitetskaja kniga", 2024. – S. 47–51. – EDN KNPTMT.
9. Gurnov K. B. Issledovanie tehnologij Li-Fi / K. B. Gurnov, B. V. Davidovich // Obrabotka, peredacha i zashhita informacii v komp'juternyh sistemah 23: Sbornik dokladov Tret'ej Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Sankt-Peterburg, 10–17 aprelja 2023 goda. – Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet ajerokosmicheskogo priborostroenija, 2023. – S. 25–28. – DOI 10.31799/978-5-8088-1824-8-2023-3-25-28. – EDN HHJYPZ.
10. Sushko R. E. Tehnologija Li-fi i ejo sfery primenenija / R. E. Sushko // Forum molodyh uchenyh. – 2021. – № 6(58). – S. 712–715. – EDN EBKRLV.
11. Pirogov R. Perspektivy ispol'zovanija tehnologij Li-Fi v aspekte obespechenija informacionnoj bezopasnosti / R. Pirogov // Collegium Linguisticum-2023: Sbornik statej Ezhegodnoj konferencii Studencheskogo nauchnogo obshhestva MGLU, Moskva, 15–17 marta 2023 goda / Otv. redaktor O.K. Irshanova, otv. sekretar' M.V. Popova [i dr.]. – Moskva: Moskovskij gosudarstvennyj lingvisticheskij universitet, 2023. – S. 740–746. – EDN RVOLBC



ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПОСТРОЕНИЮ ЗЕМНОЙ СТАНЦИИ С ПАРЦИАЛЬНЫМИ КАНАЛАМИ

Драгунов М.Ю.¹

DOI:10.21681/3034-4050-2025-1-60-67

Ключевые слова: ретранслятор связи, спутниковая радиолиния, частотный ресурс, баланс мощностей, пропускная способность, коэффициент использования частотного ресурса, информационный пакет, протокол ТСР.

Цель: рассмотреть особенности построения земной станции с парциальными каналами для нужд военных потребителей.

Результат: предложен вариант построения земной станции, способной работать парциальными каналами в стволе ретранслятора связи с прямой ретрансляцией. В отличие от существующих вариантов построения земных станций, работающих в стволе с прямой ретрансляцией сигналов, где каждой земной станции выделяется частотный ресурс ствола ретранслятора связи в пределах одного диапазона, в предлагаемой земной станции используется весь частотный ресурс ствола ретранслятора, причем не происходит перестроения по частоте уже работающих земных станций, выбор диапазонов частот для парциальных каналов одной земной станции осуществляется исходя из требований, предъявляемых к качеству связи. В работе представлены структурные схемы приемника и передатчика земной станции с парциальными каналами, а также вариант реализации предлагаемой схемы земной станции.

Практическая значимость: возможность реализации способа распределения частотного ресурса ретранслятора на земных станциях при внедрении алгоритма в программное обеспечение спутниковых маршрутизаторов и его доработки для возможности автоматизированного сканирования частот ствола ретранслятора связи и организации парциальных каналов.

Введение

Спутниковая связь является одной из ключевых технологий, обеспечивающих глобальную коммуникацию и передачу данных. В условиях стремительного развития информационных технологий и увеличения объемов данных, передаваемых по всему миру, актуальность спутниковой связи возрастает.

В связи с этим встает вопрос загрузки спутниковых ретрансляторов, распределения ресурса пропускной способности ретрансляторов между всеми абонентами, т. е. необходимость качественного и количественного улучшения существующей спутниковой группировки.

В работе [1] рассматривается методика распределения ресурса пропускной способности ретранслятора связи при работе с земными станциями (ЗС) с парциальными каналами (ПК), позволяющая повысить пропускную способность спутникового ретранслятора. В соответствии с этим необходима земная станция, способная разделять информационный поток на несколько независимых парциальных радиосигналов, формировать их и одновременно излучать.

Предложения по построению земной станции с парциальными каналами

Общий принцип работы земных станций, порядок распределения ресурса пропускной способности ретранслятора связи, расположенного на космическом аппарате, представлен на рисунке 1.

Объем передаваемой информации в сети спутниковой связи зависит от качества распределения ресурса пропускной способности ретранслятора. При организации сети в стволе с прямой ретрансляцией коэффициент использования частотного ресурса ретранслятора:

$$K_f = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ЗС}} \Delta f_i}{\Delta f_{СТБ}} \quad (1)$$

где Δf_i — полоса частот ствола ретранслятора, выделенная для сигнала

i -й земной станции; $\Delta f_{СТБ}$ — полоса пропускания ствола; $N_{ЗС}$ — количество земных станций, работающих в стволе [2].

¹Драгунов Михаил Юрьевич, адъюнкт кафедры военных систем космической, радиорелейной, тропосферной связи и навигации Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: dragunov1992@mail.ru

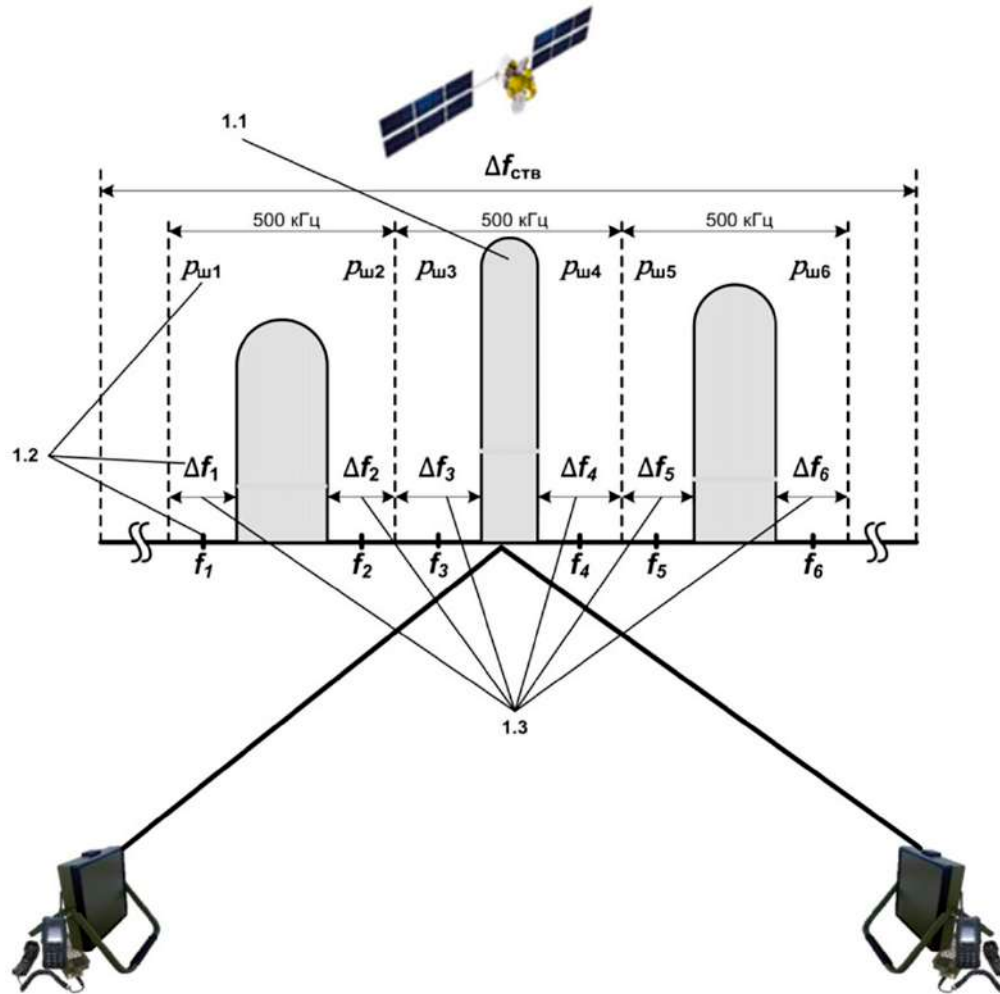


Рис. 1. Принцип работы двух земных станций в стволе с прямой ретрансляцией сигналов

При заполнении ствола сигналами ЗС K_f всегда меньше единицы и уменьшается с увеличением количества ЗС из-за наличия защитных интервалов между соседними по спектру частот сигналами, наличия защитных интервалов по краям ствола на эффект Доплера, особой расстановки частот, уменьшающей взаимные помехи, и т. д.

В полосе частот ствола ретранслятора $\Delta f_{\text{ств}}$ работают ЗС, между соседними сигналами которых имеются M незанятых частотных полос 1.3 (рис. 1). Каждая i -я частотная полоса ($i = 1 \dots M$) характеризуется набором параметров: f_i , Δf_i , $p_{\text{ш}i}$ (1.2 на рис. 1), где f_i — центральная частота; Δf_i — частотная ширина; $p_{\text{ш}i}$ — мощность шума.

Пара ЗС работают в одном направлении

спутниковой связи (НСС), в одной выделенной для работы НСС полосе частот 1.1 (рис.1). При данном подходе остаются свободными M частотных полос, уменьшающих значение K_f ствола.

Для реализации методики, описанной в [1], необходима ЗС, способная разделять входящий абонентский поток со скоростью передачи V [бит/с] на M парциальных потоков со скоростями передачи V_i , $i = 1 \dots M$, формировать и одновременно излучать парциальные радиосигналы в полосах Δf_i (Δf_3 , Δf_4 , Δf_5 на рис. 2) на несущих частотах f_i (f_3 , f_4 , f_5 на рис. 2). Количество парциальных потоков M определяют каждый раз путем анализа количества свободных частотных полос ствола, их ширины Δf_i и центральных частот f_i .

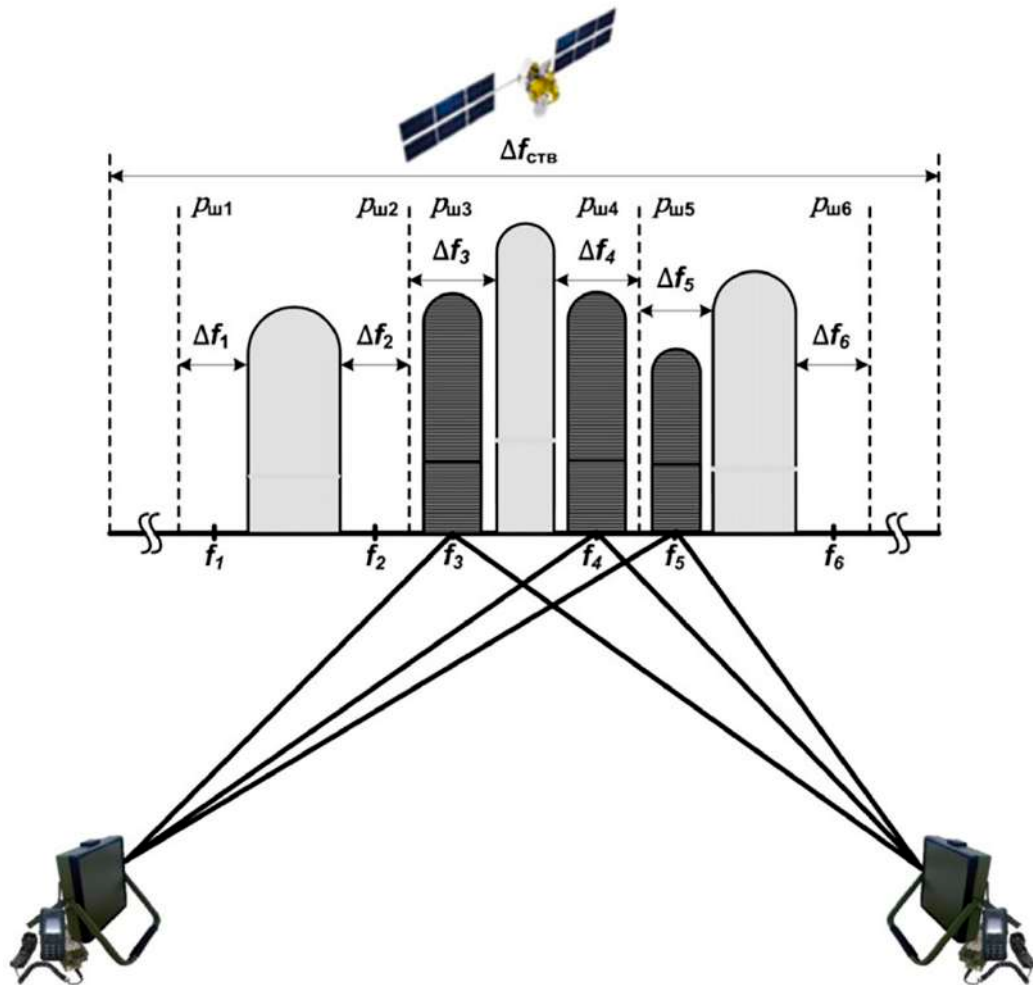


Рис. 2. Принцип работы двух земных станций с парциальными каналами в стволе с прямой ретрансляцией сигналов

При работе ЗС несколькими ПК, каждый из которых имеет набор параметров ($V_{ij}, f_{ij}, P_{ij}, Mod_{ij}, Kod_{ij}$), где i — номер земной станции ($i = 1 \dots N$); j — номер ПК ($j = 1 \dots L_i$); L_i — количество ПК i -й ЗС; V_{ij} — абонентская скорость передачи ПК; f_{ij} — частота несущей ПК; P_{ij} — мощность излучения ПК; Mod_{ij} — модуляция несущей ПК; Kod_{ij} — вид и параметры помехоустойчивого кодирования.

На рисунке 3 показана структурная схема ЗС с ПК, подтверждающая возможность реализации методики повышения коэффициента использования частотного ресурса ствола ретранслятора с прямой ретрансляцией.

Устройство состоит из передающего тракта 1.1 (рис. 3) и приемного тракта 1.2 (рис. 3). Рассмотрим работу передающего тракта 1.1 (рис. 3).

Входной информационный поток $V_{1.1.1}$ (рис. 3) разделяют с помощью устройства деления потока на блоки 1.1.2 (рис. 3), на отдельные блоки (парциальные каналы) со скоростями $V_1 \dots V_m \dots V_M$. В качестве устройства деления потока

на блоки служит программируемый демультиплексор.

Далее с помощью устройства нумерации блоков 1.1.3 (рис. 3) присваивают каждому отдельному блоку его порядковый номер для правильного их объединения на приемной части. При выполнении этого действия используют механизмы протокола TCP (*Transmission Control Protocol*), оставляя нужные поля заголовка пакета (64 бита) [3]:

порт источника (*Source Port*, 16 бит) идентифицирует парциальный канал, по которому отправлены пакеты, служит для оценки качества канала;

порт назначения (*Destination Port*, 16 бит), на который отправлен пакет, идентифицирует земную станцию;

порядковый номер пакета (*Sequence Number*, 32 бит) используется для сборки данных на приеме.

поле данных (*Data*, от 46 до 1518 байт) — длина и порядок его формирования соответствует процедурам *Ethernet* [4].

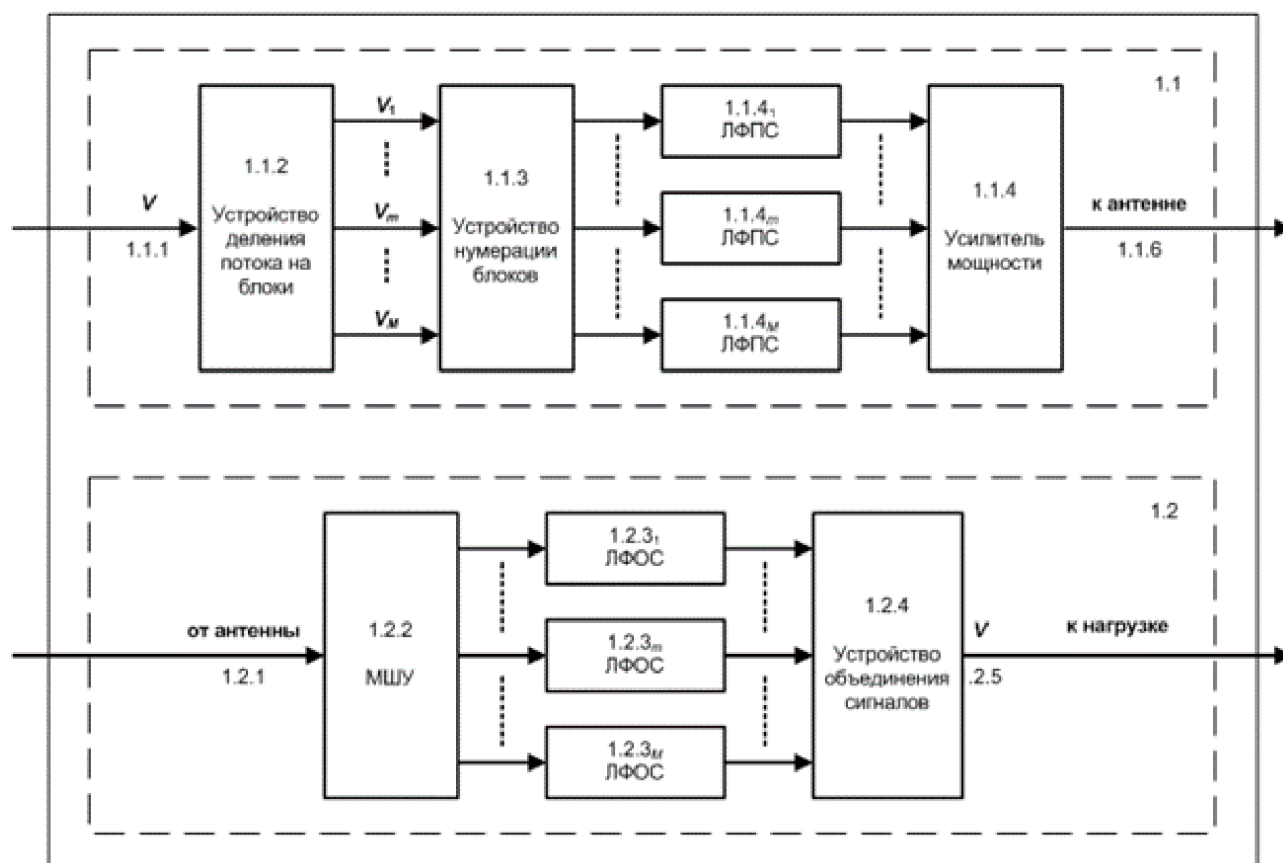


Рис. 3. Структурная схема земной станции при работе частичными каналами

После завершения нумерации каждый отдельный блок в дальнейшем обрабатывают в своей линейке формирования частичного сигнала (ЛФПС) 1.1.41...1.1.4_m...1.1.4_M (рис. 3).

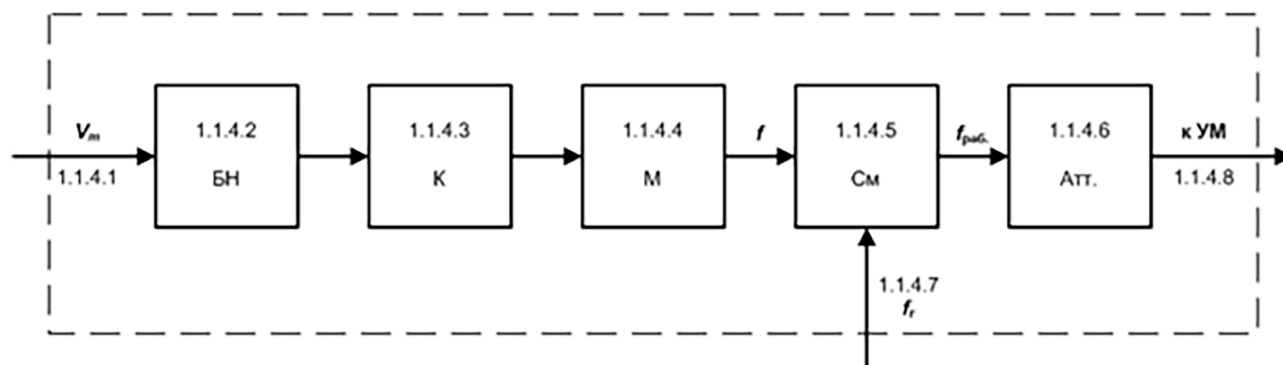


Рис. 4. Структурная схема линейки формирования частичного сигнала

Рассмотрим отдельную ЛФПС (рис. 4). После завершения нумерации блоков компенсируют различие скоростей каждого отдельного блока со скоростью V_m с входной скоростью V с помощью буферного накопителя 1.1.4.2 (рис. 4). Компенсация различия скоростей нужна для того, чтобы обработка информационного потока в каждом отдельном блоке после разделения и нумерации, не различалась по времени, т. е. обработка информации шла равномерно, без избыточности. Далее информационный блок кодируют с помощью кодера 1.1.4.3 (рис. 4), для надежной передачи данных. После кодирования информационный блок модулируют с помощью модулятора 1.1.4.4 (рис. 4). Далее несущее колебание информационного блока с частотой f переносят на рабочую частоту $f_{\text{раб}}$ с помощью смесителя 1.1.4.5 (рис. 4), работающего на частоте f_r , которая соответствует рабочей частоте ПК. Далее устанавливают баланс мощности сигнала информационного блока на входе усилителя мощности 1.1.4.8 (рис. 4) с помощью аттенюатора

1.1.4.6 (рис. 4) для достижения одинаковой вероятности ошибочного приема бита.

После формирования парциальных сигналов в линейках 1.1.41...1.1.4_m...1.1.4_M (рис. 3), информационные сигналы усиливают с помощью усилителя мощности 1.1.4 (рис. 3), чтобы передать в нагрузку сигнал заданной мощности при минимальных нелинейных искажениях и максимальном коэффициенте полезного действия. Далее сформированные и усиленные парциальные сигналы передают на антенну и излучают.

В приемном тракте 1.2 (рис. 3) определяют коэффициент шума поступающих от антенны информационных сигналов с помощью мал шумящего усилителя (МШУ) 1.2.2 (рис. 3), чтобы повысить чувствительность приемного оборудования. Далее обрабатывают каждый информационный блок в своей линейке формирования обобщенного сигнала (ЛФОС) 1.2.31...1.2.3_m...1.2.3_M (рис. 3). Рассмотрим отдельную ЛФОС (рис. 5).

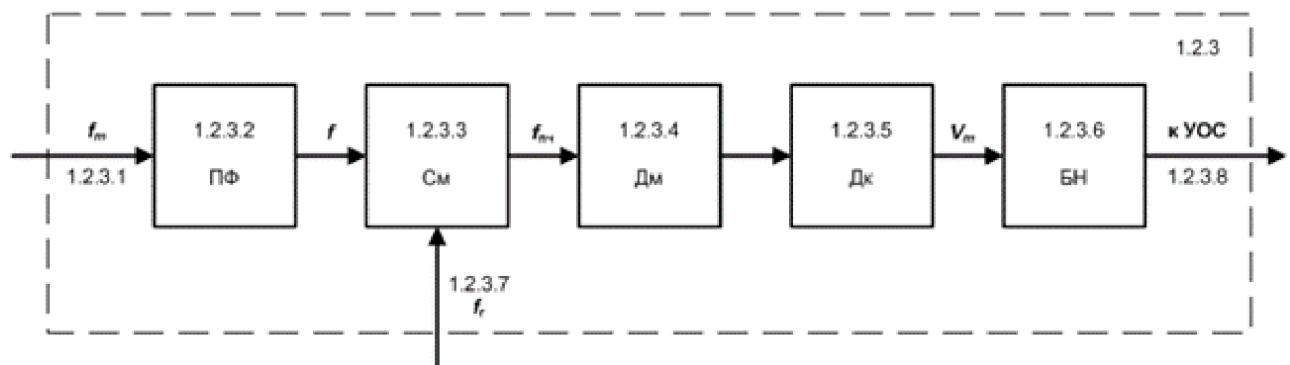


Рис. 5. Структурная схема линейки формирования обобщенного сигнала

После определения коэффициента шума приемных трактов выделяют из общего информационного потока необходимый блок с частотой f_m при помощи полосового фильтра (ПФ) 1.2.3.2 (рис. 5). Далее выделенный блок с частотой f переносят на промежуточную частоту $f_{\text{пч}}$ с помощью смесителя 1.2.3.3 (рис. 5), работающего на частоте f_r , чтобы в дальнейшем обработка сигнала проходила на одной частоте — $f_{\text{пч}}$. После информационный блок демодулируют с помощью демодулятора 1.2.3.4 (рис. 5), чтобы выделить низкочастотный (информационный) сигнал. Схема демодуляции строится в зависимости от выбранной схемы модуляции. Далее информационный блок декодируют с помощью декодера

1.2.3.5 (рис. 5), чтобы восстановить исходный информационный сигнал и исправить ошибки, которые могли возникнуть при его передаче. На выходе ЛФОС 1.2.3.8 (рис. 5) компенсируют различие скоростей V_m линейки со скоростью V обобщенного информационного потока при помощи буферного накопителя 1.2.3.6 (рис. 5), чтобы обработка обобщенного информационного потока не различалась по времени, т. е. обработка информации шла последовательно, без избыточности.

После формирования обобщенных сигналов в линейках 1.2.31...1.2.3_m...1.2.3_M (рис. 3), информационные сигналы объединяют с помощью устройства объединения сигналов 1.2.4 (рис. 3) в

единый информационный поток со скоростью V . В качестве устройства объединения сигналов может служить программируемый мультиплексор [5]. После обобщенный сигнал подают в нагрузку.

Усилитель мощности ЗС реализуется аппаратно и является общим для всех парциальных каналов. Так как скорость передачи парциальных каналов V_i различна, то для достижения одинаковой вероятности ошибочного приема бита необходимо обеспечить разную мощность их излучения.

Зная допустимую вероятность ошибки приема бита, вид модуляции и кодирования, которые, в общем случае, являются общими для всех парциальных каналов, можно определить требуемое общее значение $h^2 = P_c/P_{ш}$ на входе демодуляторов парциальных каналов.

В i -м парциальном канале мощность шума зависит от скорости передачи через Δf_i — полосу частот сигнала:

$$P_{ш i} = n_{ш} k T_0 \Delta f_i, \quad (2)$$

где $n_{ш}$ — коэффициент шума приемника, определяемый малошумящим усилителем, общим для всех парциальных каналов, а $k T_0 = 4 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц.

Для i -го и j -го парциальных каналов:

$$h^2 = \frac{P_{c j}}{P_{ш j}} = \frac{P_{c i}}{P_{ш i}}, \quad (3)$$

откуда баланс мощностей излучаемых сигналов:

$$\frac{P_{c i}}{P_{ш i}} = \frac{\Delta f_i}{\Delta f_j} = \frac{V_i}{V_j}. \quad (4)$$

Выходной усилитель работает в много-сигнальном режиме. Его мощность делится между парциальными каналами в соответствии с балансом их мощностей на его входе. Выходная мощность i -го парциального канала:

$$P_{вх i} = P_{ум} \frac{P_{вх i}}{\sum_{j=1}^M P_{вх j}} = P_{ум} \frac{V_i}{\sum_{j=1}^M V_j}, \quad (5)$$

где $P_{ум}$ — мощность усилителя; $P_{вх i}$ — мощность i -го парциального канала на входе усилителя [6].

Данный способ передачи и приема парциальных каналов может быть реализован на современных вычислительных процессорах методами цифровой обработки сигналов, а их количество может исчисляться десятками [7, 8].

На рисунке 6 представлен вариант построения модема земной станции с парциальными каналами на современной элементной базе.

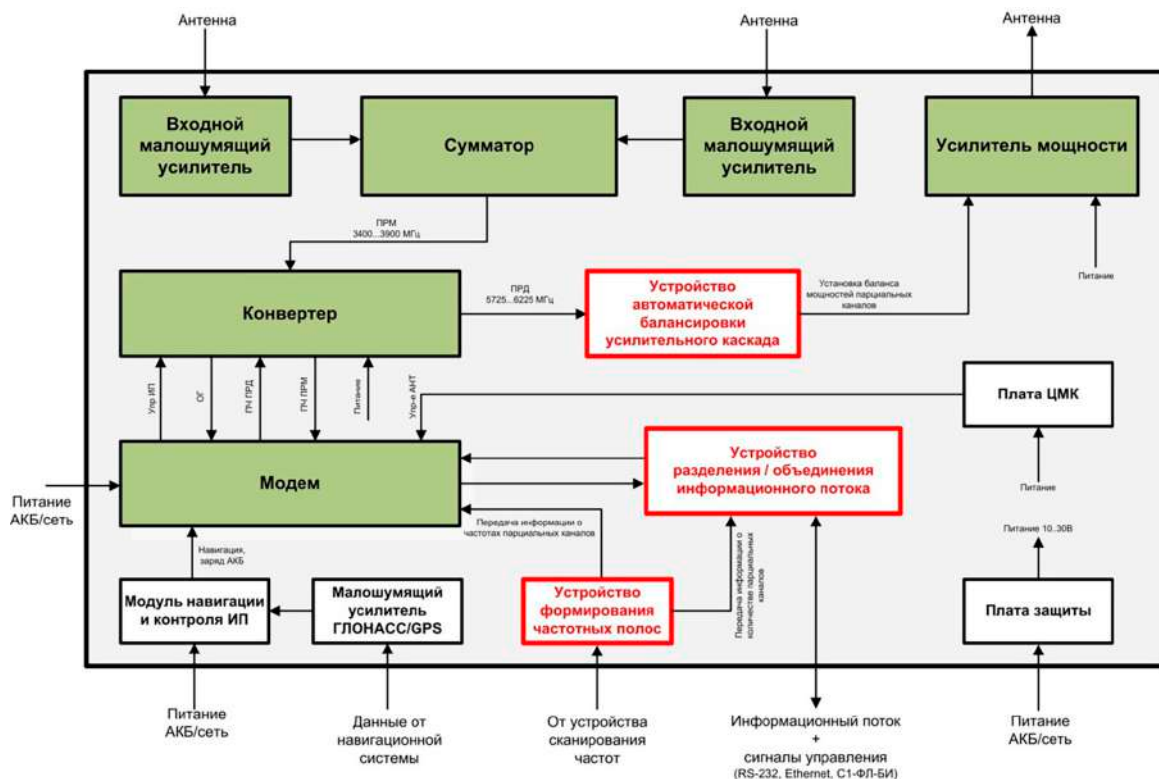


Рис. 6. Вариант построения модема земной станции с парциальными каналами

Рассмотрим работу станции на передачу. Информационный сигнал подается на устройство разделения информационного потока, где он разделяется на несколько потоков со своими скоростями (количество потоков и скорости каждого потока поступают с устройства формирования частотных полос). Далее информационный сигнал поступает на модем, где он кодируется, модулируется согласно установленным параметрам (сигнал опорной частоты поступает с конвертера). После сформированный сигнал подается на конвертер, где он переносится на передающие частоты станции. С конвертера информационные сигналы поступают на устройство автоматической балансировки усилительного каскада, с помощью которого соблюдается баланс мощностей на входе усилителя мощности. После чего усиленный сигнал поступает на антенну.

При работе станции на прием, принимаемые сигналы с антенны через СВЧ тракт поступают на входной малошумящий усилитель. Далее через сумматор усиленный принимаемый сигнал подается на конвертер, в котором он переносится на промежуточную частоту. С выхода конвертера сформированный сигнал подается на модем, где узкополосные сигналы оцифровываются,

демодулируются и декодируются (каждый по своему каналу). После информационные потоки поступают в устройство объединения, где формируется общий информационный поток, который подается на пульт управления и оконечную аппаратуру [9, 10].

Выводы

В настоящее время появляются новые услуги связи, которые требуют повышенной пропускной способности в каналах связи. Кроме того, в существующей системе спутниковой связи каналы радиолиний жестко закрепляются за станциями и не имеют возможности оперативного перераспределения информационной нагрузки, что снижает пропускную способность ретрансляторов связи в целом.

В статье рассмотрены научно-технические предложения по реализации земной станции специального назначения, работающей парциальными каналами. Полученные результаты позволяют устранить вышеуказанные недостатки современной системы спутниковой связи, к тому же, использование предложенных земных станций повышают устойчивость к деструктивным воздействиям.

Рецензент:

Бурлаков Сергей Олегович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Военных систем космической, радиорелейной, тропосферной связи и навигации Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E mail: SOBurlakov@yandex.ru

Литература

1. Бурлаков С. О., Драгунов М. Ю., Мишин Д. Ю., Новиков Е. А. Методика распределения частот спутникового ретранслятора для работы земных станций с парциальными каналами // Труды военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. 2024. № 691. С. 26-31.
2. Немировский М.С., Локшин Б.А., Аронов Д.А. Основы построения систем спутниковой связи / М.: Горячая линия – Телеком, 2021. 432 с. ISBN: 978-5-9912-0580-1
3. Фаткиева Р.Р. Основы построения защищенных компьютерных сетей. Протокол TCP. – СПб.: СПбЭТУ «ЛЭТИ», 2021. 16 с.
4. Гостев В.М. Архитектура сетей Ethernet.: Учебно-методическое пособие. – Казань.: КФУ ИВМиИТ, 2021.
5. Спиридонов С.Б. Схемотехника дискретных устройств. – Москва.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020.
6. Бурлаков С.О., Веркин С.С., Егорушев В.Е., Антонов В.В. Методика оценки требуемой мощности передатчика земной станции // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 23. С. 728-734.
7. Балясников А.Г. Методы цифровой обработки измерительных сигналов / А.Г. Балясников, Д.Р. Абросимов, Н.Г. Логинов, А.Ю. Тычков // Инжиниринг и технологии. – 2020. – Vol. 5(2). – С. 1-6.
8. Сгибнева Е.А. Методы обработки сигналов в телекоммуникационных системах // Вестник связи. 2023. №8. С. 26-30.
9. Белов А.С., Алдошин А.И., Абакумова А.Ю. Отечественные модемы земных станций спутниковой связи // Электросвязь. 2020. №1. С. 27-36.
10. Вергелис Н.И., Липатов И.А., Тоцкий С.Е. и др. Подвижная станция спутниковой связи // Патент РФ № 2729037 Заявлено 31.01.2020 г. Опубликовано 04.08.2020 г.

EARTH STATION CONSTRUCTION PROPOSALS WITH PARTIAL CHANNELS

Dragunov M.Yu.¹

Keywords: communication repeater, satellite radio link, frequency resource, power balance, bandwidth, frequency resource utilization factor, information packet, TCP protocol.

Objective: to consider the features of the construction of an earth station with partial channels for the needs of military consumers.

Result: a variant of construction of an earth station capable of operating partial channels in the trunk of a relay with direct relay is proposed. In contrast to the existing options for the construction of earth stations operating in a trunk with direct relay of signals, where each earth station is allocated a frequency resource of the trunk of the communication repeater within one range, the proposed earth station uses the entire frequency resource of the repeater trunk. At the same time, there is no retuning of the frequency of already operating earth stations, the choice of frequency ranges for partial channels of one earth station is carried out based on the requirements for the quality of communication. The paper presents structural diagrams of a receiver and transmitter of an earth station with partial channels, as well as a variant of the implementation of the proposed earth station scheme.

Practical significance: the possibility of implementing the method of distributing the frequency resource of the repeater at earth stations when implementing the algorithm in the software of satellite routers and its refinement for the possibility of automated scanning of the frequencies of the trunk of the communication repeater and the organization of partial channels.

Reviewer:

Sergey O. Burlakov, Dr.Sc. of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Military Systems of Space, Radio Relay, Tropospheric Communication and Navigation, Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E mail: SOBurlakov@yandex.ru

References

1. Burlakov S. O., Dragunov M. Ju., Mishin D. Ju., Novikov E. A. Metodika raspredeleniya chastot sputnikovogo retransljatora dlja raboty zemnyh stancij s parcial'nymi kanalami // Trudy voenno-kosmicheskoj akademii imeni A. F. Mozhajskogo. 2024. № 691. S. 26-31.
2. Nemirovskij M.S., Lokshin B.A., Aronov D.A. Osnovy postroenija sistem sputnikovoj svjazi / M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2021. 432 s. ISBN: 978-5-9912-0580-1
3. Fatkueva R.R. Osnovy postroenija zashhishhennyh komp'juternyh setej. Protokol TCP. – SPb.: SPbJeTU «LJeTI», 2021. 16 s.
4. Gostev V.M. Arhitektura setej Ethernet.: Uchebno-metodicheskoe posobie. – Kazan': KFU IVMIIT, 2021.
5. Spiridonov S.B. Shemotehnika diskretnyh ustrojstv. – Moskva.: MG TU im. N.Je. Bauman, 2020.
6. Burlakov S.O., Verkin S.S., Egrushev V.E., Antonov V.V. Metodika ocenki trebuemoj moshhnosti peredatchika zemnoj stancii. Innovacii. Nauka. Obrazovanie. 2020. № 23. S. 728-734.
7. Baljasnikov A.G. Metody cifrovoj obrabotki izmeritel'nyh signalov / A.G. Baljasnikov, D.R. Abrosimov, N.G. Loginov, A.Ju. Tychkov // Inzhiniring i tehnologii. – 2020. – Vol. 5(2). – S. 1-6.
8. Sgibneva E.A. Metody obrabotki signalov v telekommunikacionnyh sistemah // Vestnik svjazi. 2023. №8. S. 26-30.
9. Belov A.S., Aldoshin A.I., Abakumova A.Ju. Otechestvennye modemy zemnyh stancij sputnikovoj svjazi // Jelektrosvjaz'. 2020. №1. S. 27-36.
10. Vergelis N.I., Lipatov I.A., Tockij S.E. i dr. Podvizhnaja stancija sputnikovoj svjazi // Patent RF № 2729037 Zajavleno 31.01.2020 g. Opublikovano 04.08.2020 g.

¹Mikhail Yu. Dragunov, Adjunct of the Department of Military Systems of Space, Radio Relay, Tropospheric Communication and Navigation, Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: dragunov1992@mail.ru



СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Брежнев Д.В.¹, Вдовченко Е.С.², Савельева М.В.³, Абилов В.Н.⁴

DOI:10.21681/3034-4050-2025-1-68-73

Ключевые слова: квадратурные каналы, когерентная сетка частот, квадратурная амплитудная модуляция, квадратурная многоуровневая амплитудно-инверсная модуляция.

Цель исследования: заключается в изучении возможностей и перспектив применения новых способов кодового разделения каналов в широкополосных системах радиосвязи, позволяющих повысить спектрально-энергетические характеристики данных систем.

Метод исследования: в исследовании использован метод анализа и синтеза, позволяющий комплексно оценить перспективы внедрения новых способов кодового разделения каналов и модуляции сигналов в широкополосные системы радиосвязи.

Результат: в ходе исследования были предложены и рассмотрены новые способы модуляции сигналов и кодового разделения каналов, проведена их сравнительная оценка по эффективности использования выделенного спектра частот с применяемыми в настоящее время в широкополосных системах радиосвязи способами передачи информации. В статье проведена оценка пропускной способности широкополосных систем радиосвязи с когерентным частотно-кодовым разделением каналов с квадратурной двоичной инверсной модуляцией сигналов на каждой когерентной частоте, а также пропускной способности систем радиосвязи с когерентным частотно-кодовым разделением каналов с многоуровневой квадратурной амплитудно-инверсной модуляцией широкополосных сигналов на каждой когерентной частоте в ограниченной выделенной полосе радиочастот.

Научная новизна: предложенные способы кодового разделения каналов и модуляции сигналов по сравнению с известными позволяют существенно повысить пропускную способность перспективных систем связи в выделенной полосе частот при сохранении их энергоэффективности и высокой помехозащищенности, свойственной широкополосным системам радиосвязи.

Вклад авторов: Брежнев Д.В. — 25%; Вдовченко Е.С. — 25%; Савельева М.В. — 25%; Абилов В.Н. — 25%.

Введение

В настоящее время в связи с бурным развитием информационных технологий и значительным увеличением числа средств связи, использующих радиочастотный ресурс, возникла острая необходимость его рационального использования. Системы радиосвязи вынуждены работать в условиях ограниченного (выделенного) радиочастотного ресурса и при этом обеспечивать требуемое качество предоставляемых услуг для всех пользователей.

Вопросы обеспечения совместной работы различных радиоэлектронных средств в насто-

ящее время решаются в основном проведением организационных мероприятий и жестким соблюдением частотного регламента. Поскольку весь имеющийся частотный ресурс уже поделен, а требования по расширению предоставляемых телекоммуникационных услуг и их качеству постоянно возрастают, то одними организационными мерами эту проблему не решить.

Одним из перспективных направлений по повышению эффективности работы систем радиосвязи в условиях острого дефицита частотного ресурса является направление, связанное с повышением эффективности его использования.

¹Брежнев Дмитрий Викторович, начальник управления ФГБУ "16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт" Минобороны России, Московская область, г. Мытищи. E-mail: kbs79@bk.ru

²Вдовченко Евгений Станиславович, начальник службы-помощника начальника института по защите государственной тайны ФГБУ "16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт" Минобороны России, Московская область, г. Мытищи. E-mail: natashok12039@mail.ru

³Савельева Марина Викторовна, кандидат технических наук, научный сотрудник ФГБУ "16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт" Минобороны России, Московская область, г. Мытищи. E-mail: marina-savelieva-62@mail.ru

⁴Абилов Владимир Нурбулатович, старший научный сотрудник ФГБУ "16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт" Минобороны России, Московская область, г. Мытищи. E-mail: avnurb@mail.ru

Одним из основных требований, предъявляемым как к существующим, так и к перспективным системам связи в условиях возросшего спроса на выделение полос частот, является требование по обеспечению высокой спектральной эффективности. Под спектральной эффективностью системы связи понимается максимально высокий трафик радиоинтерфейса в заданной полосе частот. Она оценивается коэффициентом спектральной эффективности, который представляет собой отношение скорости передачи информации в системе (пропускной способности системы) к полосе частот спектра сигнала.

В настоящее время в системах широкополосного доступа в основном используется кодовое разделение каналов, которое имеет ряд преимуществ перед частотным и временным способами разделения. Это устойчивость к узкополосным помехам, частотно-селективным замираниям, конфиденциальность и защищенность передаваемых данных, большая емкость системы [1].

В статье рассмотрены новые способы кодового разделения каналов и модуляции сигналов, позволяющие повысить коэффициент спектральной эффективности систем передачи информации и, как следствие, существенно расширить перечень предоставляемых телекоммуникационных услуг, требующих высокой скорости передачи информации, проведена оценка пропускной способности систем радиосвязи, реализующих эти способы в ограниченной выделенной полосе частот.

Известны следующие способы повышения эффективности использования выделенного спектра частот:

- ❖ применение ортогональных кодов (двоичных псевдослучайных последовательностей из ансамбля полных кодовых колец) [2, 3, 4];
- ❖ использование когерентных частот для разделения каналов (число когерентных частот L — нечетно) [5, 6, 7];
- ❖ применение эффективных видов модуляции сигналов: квадратурных многоуровневой амплитудной или фазовой модуляции [5];
- ❖ комбинированное применение указанных способов.

Квадратурный амплитудно-инверсный способ модуляции сигналов

Пропускная способность многоканальных систем радиосвязи с кодовым разделением квадратурных каналов при инверсной (двоичной) модуляции сигналов численно равна полосе спектра сигнала, выраженной в Гц. Известно, что исполь-

зование М-ичной модуляции сигналов позволяет получить требуемую пропускную способность в выделенной полосе спектра частот, но для этого потребуются дополнительные затраты энергии на передачу информации⁵. Задача состоит в том, чтобы из множества возможных способов М-ичной модуляции сигналов найти такой, который требует меньших затрат энергии на передачу требуемого количества информации.

В [8] предложен новый способ многоуровневой квадратурной амплитудно-инверсной модуляции сигналов (m -КАИМ), улучшающий спектрально-энергетические характеристики систем радиосвязи. Суть данного способа модуляции состоит в следующем. Каждой информационной группе, состоящей из m двоичных символов, один из них (например, первый) используется для определения знака информационной кодовой последовательности (прямая или инверсная), а остальные $(m - 1)$ символов определяют амплитуду этой последовательности.

Когерентный частотно-кодовый способ разделения каналов

Пусть имеется когерентная сетка частот с фиксированным разносом соседних частот на

$$\Delta f = 1/T = F/N,$$

где T — длительность двоичных псевдослучайных последовательностей из ансамбля полных кодовых колец (период кодовой последовательности), применяемых для ортогонального кодового разделения информационных каналов на каждой когерентной частоте;

N — длина кодовой последовательности, выраженная в чипах (элементарных прямоугольных импульсах), $N = 2n$, $n > 1$;

$2F$ — ширина полосы частот, выделенной системе радиосвязи.

Для любой пары когерентной сетки частот разность фаз чётной тригонометрической функции должна удовлетворять равенству:

$$\Delta\varphi = \varphi_i - \varphi_j = \frac{\pi}{2} (2k + 1); i - j = k; k = 0, 1, 2, \dots,$$

при этом $\cos \Delta\varphi = \pi r^2 = 0$,
а нечётной —

$$\Delta\varphi = \varphi_i - \varphi_j = \varphi_i - \varphi_j' = \pi k,$$

при этом $\sin \Delta\varphi = 0$.

⁵Скляр Б. Цифровая связь: теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр; пер. с англ. Е.Е. Грозы и др. — 2-е изд. М.: Вильямс, 2016. 1099 с.

В этом случае квадратурные каналы можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned}y_i(t) &= A_i \cos(\omega_i t + \varphi_i), \\x_i(t) &= A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i), \\y'_j(t) &= A_j \cos(\omega_j t + \varphi'_j), \\x'_j(t) &= A_j \sin(\omega_j t + \varphi'_j),\end{aligned}$$

где ω — угловая частота, $\omega = 2\pi/\tau$, $\tau = T/N$, то есть $\omega = 2\pi N/T$;

τ — длительность символа кодовой последовательности.

Примем скорость передачи информации $R = 1/\tau$ в синфазном и квадратурном каналах одинаковой. Тогда ширина спектра сигнала на когерентной частоте $2F = 2/\tau = 2N/T = 2N \cdot R$.

Покажем, что квадратурные каналы радиосвязи на когерентных частотах ортогональны.

$$\begin{aligned}z(t) &= \int_0^T A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) \cdot A_j \sin(\omega_j t + \varphi'_j) dt = \\&= A_i \cdot A_j \cdot \int_0^T \{ \cos[(\omega_i - \omega_j)t + \varphi_i - \varphi'_j] - \\&\quad - \cos[(\omega_i + \omega_j)t + \varphi_i + \varphi'_j] \} dt / 2.\end{aligned}$$

Составляющая суммарной частоты (выделена жирным шрифтом) находится за пределами полосы частот, пропускаемых низкочастотным фильтром. Следовательно:

$$z(t) \approx A_i \cdot A_j \cdot \int_0^T \cos[(\omega_i - \omega_j)t + \varphi_i - \varphi'_j] dt / 2 = 0,$$

как интеграл от целого числа периодов.

Аналогично:

$$\begin{aligned}z'(t) &= \int_0^T A_i \cos(\omega_i t + \varphi_i) \cdot A_j \cos(\omega_j t + \varphi'_j) dt = \\&= A_i \cdot A_j \cdot \int_0^T \{ \cos[(\omega_i - \omega_j)t + \varphi_i - \varphi'_j] + \\&\quad + \cos[(\omega_i + \omega_j)t + \varphi_i + \varphi'_j] \} dt / 2 \approx \\&\approx A_i \cdot A_j \cdot \int_0^T \cos[(\omega_i - \omega_j)t + \varphi_i - \varphi'_j] dt / 2 = 0.\end{aligned}$$

Из приведённых выше выражений следует, что:

- ❖ любая пара квадратурных каналов на соседних когерентных частотах на выходе фильтра, настроенного на разностную частоту $(\omega_i - \omega_j)$, ортогональна;
- ❖ в системах радиосвязи с когерентным частотно-кодовым разделением каналов все квадратурные каналы ортогональны между собой.

Будем считать, что ширина спектра частот, выделенная регламентирующими органами широкополосной системе радиосвязи, равна $2F$. В этом случае при наличии $L > 1$ когерентных частот (L — нечётное число) ширина частотного спектра, требуемая системе радиосвязи, превысит выделенную полосу частот на величину $R \cdot (L - 1)^6$.

Для того чтобы избежать превышения выделенной полосы частот, необходимо ограничить ширину спектра радиосигнала каждого широкополосного канала с обеих сторон (слева и справа) на величину $\Delta f = R \cdot (L - 1) / 2 = (L - 1) \cdot F / 2N$ [5]. Ограничение спектра в разумных пределах не нарушит ортогональности радиосигналов, только незначительно изменится форма чипов, затягиваются фронты и спады исходных «прямоугольных» импульсов. Например, при $N = 64$ и $L = 5$ с каждой стороны спектра прямоугольного импульса, ограниченного по первым нулям и имеющего ширину главного лепестка «неискаженного» спектра $128R$ [Гц], будет срезано по $\Delta f = R \cdot (L - 1) / 2 = 2R$ [Гц] (рис. 1).

⁶Сивов В.А., Васильев В.А., Моисеев В.Ф. и др. Оценка пропускной способности систем радиосвязи с когерентным частотно-кодовым разделением каналов // Электросвязь. 2018. № 6. С. 53 – 55.

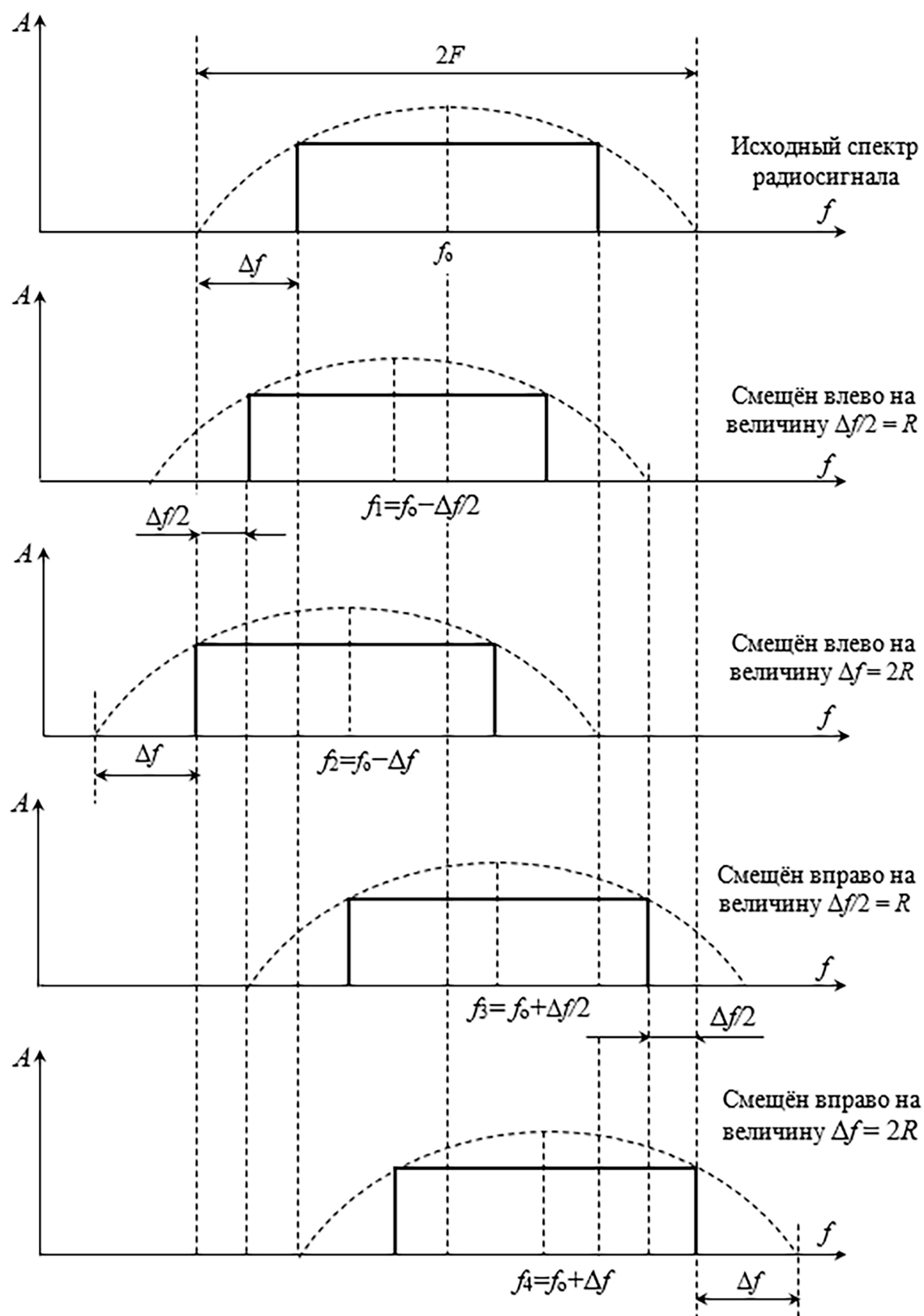


Рис. 1. Когерентно-частотный способ разделения каналов

Тогда ширина спектра сигнала на конкретной частоте составит $124R$, а ширина спектра на L когерентных частотах

$$2F = 124 \cdot R + (L - 1) \cdot R = 128 \cdot F/N, \text{ Гц}$$

т.е. равна выделенной полосе частот. При этом пропускная способность системы радиосвязи возрастет в L раз, в данном случае — в 5 раз.

Таким образом, рассматриваемый когерентный частотно-кодированный способ разделения каналов с двоичным инверсным методом модуляции N широкополосных сигналов на L когерентных частотах в пределах выделенной полосы частот $2F$ состоит в усечении главного лепестка спектра прямоугольного радиоимпульса с любой стороны на величину $F \cdot (L - 1) / 2N$ [Гц] на каждой из когерентных частот.

Оценим пропускную способность рассмотренных способов передачи информации.

Пропускная способность одноканальной широкополосной системы связи с квадратурными каналами, длиной кода равной N чипов и инверсной двоичной модуляцией

$$C = 2R.$$

Пропускная способность N -канальной системы связи с ортогональным кодовым разделением каналов и инверсной двоичной модуляцией в каждом квадратурном канале

$$C = 2R \cdot N.$$

Пропускная способность N -канальной системы связи на L когерентных частотах в сочетании с ортогональным кодовым разделением каналов и инверсной двоичной модуляцией в каждом квадратурном канале

$$C = 2R \cdot N \cdot L.$$

Ещё большую пропускную способность можно обеспечить при совместном применении изложенного выше способа m -КАИМ и способа разделения каналов на L когерентных частотах

$$C = 2m \cdot L \cdot R \cdot N.$$

Например, при $m = 4$ и $L = 5$ пропускная способность системы радиосвязи возрастет в $m \cdot L = 4 \cdot 5 = 20$ раз.

Выводы

Таким образом, в системах радиосвязи в условиях острого дефицита частотного ресурса целесообразно использовать способ кодового разделения каналов на базе нелинейных кодовых последовательностей, полученных на основе полных кодовых колец.

Использование широкополосных систем радиосвязи с многоуровневой квадратурной амплитудно-инверсной модуляцией сигналов и с когерентным частотно-кодированным разделением каналов позволяет повысить пропускную способность в выделенной полосе частот в mL раз, где m — число кодируемых двоичных информационных символов, а L — число когерентных частот.

Рассмотренные способы кодового разделения каналов и модуляции сигналов позволяют существенно повысить пропускную способность широкополосных систем радиосвязи в ограниченной выделенной полосе частот при сохранении их энергоэффективности и помехозащищенности, и могут быть использованы при модернизации существующих и разработке перспективных систем радиосвязи.

Литература

1. Чистяков Е.А., Мартынов И.А., Самохина Е.В. Кодовое разделение сигналов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2023. Т. 192, № 1. — С. 27 — 31.
2. Зайцев М.А., Савилкин С.Б., Сухов А.В., Филатов В.И. Выбор ансамбля широкополосных сигналов для систем спутниковой связи с многостанционным доступом // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2023. № 5.
3. Филатов В.И., Жулего В.А., Балакирев В.Ю., Ушаков С.С. Разработка предложений по выбору ансамбля широкополосных сигналов для систем спутниковой связи с многостанционным доступом с кодовым разделением каналов // T-Comm. Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т.15, № 4. С. 13 — 20.
4. Савчук Д.О. Методы разделения каналов // Актуальные исследования. Международный научный журнал. 2024. №44 (226). ArXiv:2404.00000.
5. Сивов В.А., Васильев В.А., Филатов В.И. и др. Выбор ансамбля широкополосных сигналов для систем спутниковой связи с многостанционным доступом // Стратегическая стабильность. 2020. №3(92). С.61 — 63.
6. Аверина Л.И., Каменцев О.К. Повышение спектральной эффективности сигналов с частотным мультиплексированием в системах высокоскоростной связи // Радиотехника. 2023. Т. 87, №5. — С. 115 — 122.
7. Liu X, Darwazeh I., Zein N., Sasaki E. Spectrally efficient FDM system with probabilistic shaping // IEEE 94th Vehicular Technology Conference. 2021. P. 1 — 6.
8. Патент на изобретение RU № 2770857C1, приоритет изобретения от 29.04.2021 г., опубликовано 22.04.2022 г., бюл. № 12.

WAYS TO INCREASE THE BANDWIDTH OF BROADBAND RADIO COMMUNICATION SYSTEMS WITH CODE DIVISION OF CHANNELS

Brezhnev D.V.¹, Vdovchenko E.S.², Savelyeva M.V.³, Abilov V.N.⁴

Keywords: quadrature channels, coherent frequency grid, quadrature amplitude modulation, quadrature multilevel amplitude-inverse modulation.

The purpose of the study is to study the possibilities and prospects of using new methods division of channels in broadband radio communication systems, which allow improving the spectral and energy characteristics of these systems.

Research method. The study used the method of analysis and synthesis, which allows for a comprehensive assessment of the prospects for the introduction of new methods of code division of channels and signal modulation in broadband radio communication systems.

The results of the research were proposed and considered new methods of signal modulation and channel code division of channels, and their comparative assessment was carried out in terms of the efficiency of using the allocated frequency spectrum with methods of transmitting information currently used in broadband radio communication systems. The article provides an assessment of the bandwidth of broadband radio communication systems with coherent frequency-code division of channels with quadrature binary inverse modulation of signals at each coherent frequency, as well as the bandwidth of radio communication systems with coherent frequency-code division of channels with multilevel quadrature amplitude-inverse modulation of broadband signals at each coherent frequency in a limited dedicated radio frequency band.

Scientific novelty. The proposed methods of code division of channels and modulation of signals, in comparison with known ones, make it possible to significantly increase the bandwidth of promising communication systems in a dedicated frequency band while maintaining their energy efficiency and high noise immunity, inherent in broadband radio communication systems.

References

1. Chistjakov E.A., Martynov I.A., Samohina E.V. Kodovoe razdelenie signalov // Voprosy jelectromehaniki. Trudy VNIIJeM. 2023. T. 192, № 1. – S. 27 – 31.
2. Zajcev M.A., Savilkin S.B., Suhov A.V., Filatov V.I. Vybor ansamblja širokopolosnyh signalov dlja sistem sputnikovoj svjazi s mnogostancionnym dostupom // Zhurnal radiojelektroniki [jelektronnyj zhurnal]. 2023. № 5.
3. Filatov V.I., Zhulego V.A., Balakirev V.Ju., Ushakov S.S. Razrabotka predlozhenij po vyboru ansamblja širokopolosnyh signalov dlja sistem sputnikovoj svjazi s mnogostancionnym dostupom s kodovym razdeleniem kanalov // T-Comm. Telekommunikacii i transport. 2021. T.15, № 4. S. 13 – 20.
4. Savchuk D.O. Metody razdelenija kanalov // Aktual'nye issledovanija. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal. 2024. №44 (226). Apni.ru:journal/226.
5. Sivov V.A., Vasil'ev V.A., Filatov V.I. i dr. Vybor ansamblja širokopolosnyh signalov dlja sistem sputnikovoj svjazi s mnogostancionnym dostupom // Strategicheskaja stabil'nost'. 2020. №3(92). S.61 – 63.
6. Averina L.I., Kamencev O.K. Povyshenie spektral'noj jeffektivnosti signalov s chastotnym mul'tipleksirovaniem v sistemah vysokoskorostnoj svjazi // Radiotekhnika. 2023. T. 87, №5. – S. 115 – 122.
7. Liu X, Darwazeh I., Zein N.,Sasaki E. Spectrally efficient FDM system with probabilistic shaping // IEEE 94th Vehicular Technology Conference. 2021. P. 1 – 6.
8. Patent na izobretenie RU № 2770857S1, prioritet izobretenija ot 29.04.2021 g., opublikovano 22.04. 2022 g., bjul. № 12.

¹Dmitry V. Brezhnev, Head of the Department of the 16th Central Research and Testing Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow Region, Mytishchi. E mail: kbs79@bk.ru

²Evgeny S. Vdovchenko, Head of the Assistant Service to the Head of the Institute for the Protection of State Secrets of the 16th Central Research and Testing Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow Region, Mytishchi. E-mail: natashok12039@mail.ru

³Marina V. Savelyeva, Ph.D. of Technical Sciences, Researcher of the Federal State Budgetary Institution "16th Central Research and Testing Institute" of the Ministry of Defense of Russia, Moscow Region, Mytishchi. E mail: marina-savelyeva-62@mail.ru

⁴Vladimir N. Abilov, Senior Researcher of the Federal State Budgetary Institution "16 Central Scientific Research Testing Institute" of the Russian Ministry of Defense, Moscow region, Mytishchi. E-mail: avnurb@mail.ru

РАЗРАБОТКА АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ПЛАНАРНЫМ АНТЕННЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Бородулин Р.Ю.¹, Лукьянов Н.О.², Лянгузов Д.А.³

DOI:10.21681/3034-4050-2025-1-74-85

Ключевые слова: оптимизация элемента, рефлектор, высокочастотный делитель мощности.

Аннотация

Цель работы: состоит в анализе и разработке цельнометаллического антенного элемента для секторной антенны базовых станций с лучшими электрическими характеристиками, по сравнению с элементами, изготовленными по технологии печатных плат.

Методы исследования: в качестве численных методов определения электрических характеристик элементов — метод конечных разностей во временной области и метод конечных элементов, в качестве метода для определения квазиоптимальной структуры излучателя — градиентный метод оптимизации.

Результаты исследования заключаются в разработке антенной решетки, синтезированной по критериям обеспечения коэффициента стоячей волны менее 1,5 в рабочем диапазоне частот, обеспечения коэффициента развязки между входами/выходами для ортогонально расположенных излучателей в антенной решетке менее – 26 дБ и сохранения формы диаграммы направленности. Обоснован выбор полученных электрических характеристик, а также геометрических размеров отдельного излучателя и антенной решетки в целом. Сравнение результатов расчета и измерений характеристик макета антенны показало соответствие практических и теоретических результатов. По результатам изготовлена антенная решетка, сформулированы рекомендации по совершенствованию антенной структуры с практической точки зрения.

Практическая ценность заключается в полученной структуре планарного антенного элемента антенной решетки.

Постановка задачи на разработку антенной решетки с планарным антенным элементом

Для разработки антенной решетки общую задачу условно можно разделить на три подзадачи.

Первая подзадача — разработка и оптимизация элемента антенной решетки.

Вторая подзадача — разработка линейной антенной решетки с рефлектором.

Третья подзадача — разработка высокочастотного делителя мощности.

Решение оптимизационной задачи по разработке элемента антенной решетки заключается в поиске наименьших размеров излучающей поверхности антенного элемента, при которых сохраняются заданные электрические характеристики.

Задача оптимизации включает в себя несколько основных этапов:

- задание требуемых характеристик;
- выбор типа излучателя;
- выбор критериев оптимизации;
- выбор параметров оптимизации;
- расчет и анализ характеристик.

Излучающий элемент секторной антенны для базовых станций (сотовой связи, комплексов Р.48 «Гранит», возимых радиостанций Р 187-В «Азарт») должен обеспечивать следующие характеристики [1–3]:

- ❖ коэффициент стоячей волны (КСВ) в фидере с волновым сопротивлением 50 Ом не должен превышать 1,5 в полосе частот 1710–2700 МГц;
- ❖ величина развязки между входами/выходами для антенн, функционирующих на двух ортогональных поляризациях или в двух и более диапазонах частот, должна составлять величину не менее 25 дБ в заданной полосе частот.

¹Бородулин Роман Юрьевич, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры радиосвязи Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E mail: borodulroman@yandex.ru

²Лукьянов Николай Олегович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры радиосвязи Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E mail: lukyanovno@yandex.ru

³Лянгузов Данила Андреевич, кандидат технических наук, начальник отделения (организации подготовки научно-педагогических кадров) Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E mail: danilalgz@yandex.ru

Наиболее распространенные в базовых станциях ортогональные симметричные вибраторы над рефлектором, излучающие поверхности которых расположены в плоскости рефлектора, хотя и имеют хорошие характеристики, но их сборка — достаточно трудозатратный процесс [4]. Кроме того, так как излучатель работает на высоких частотах, небольшое отклонение от заданных геометрических параметров при сборке приводит к изменению электрических характеристик излучателя. Изготовление цельнометаллического элемента позволит снизить трудозатраты и избежать некорректных результатов из-за

неточностей при его изготовлении и сборке. Кроме того, такая антенна позволит работать с передатчиками большей мощности, чем излучатели, изготовленные по технологии печатных плат. В качестве прототипа выберем ортогональный металлический Г-образный планарный диполь, пример и схема антенного устройства, выбранного в качестве исходного элемента для оптимизации представлена на рис. 1.

Решение оптимизационной задачи заключается в поиске наименьшего оптимального размера антенного элемента, при сохранении заданных электрических характеристик [5, 6].

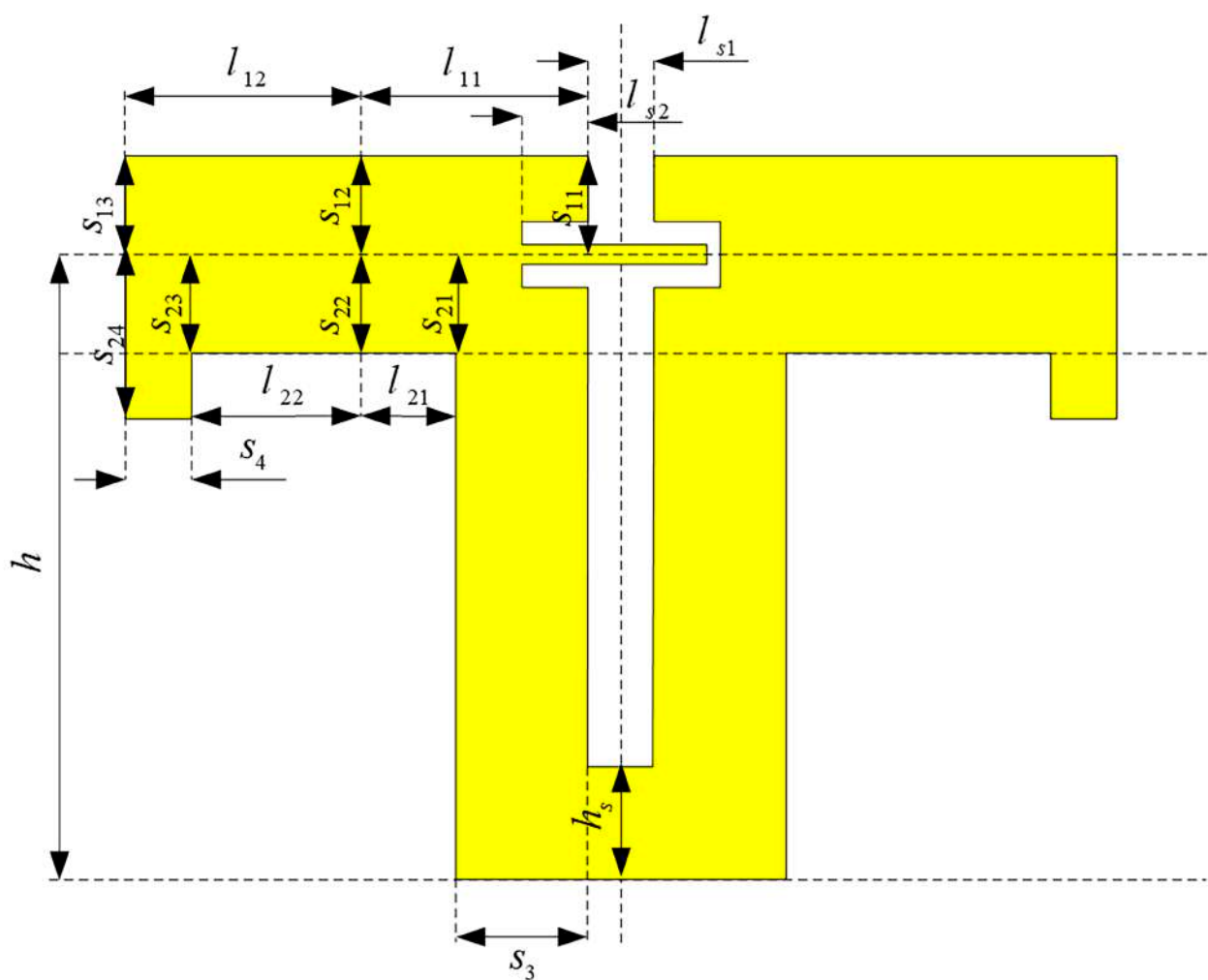


Рис.1. Схема прототипа излучателя

В качестве критериев оптимизации выберем КСВ и диаграмму направленности (ДН).

Как видно из рис.1 оптимизация будет осуществляться путем поиска новой оптимальной формы излучающей поверхности планарного из-

лучателя, которая позволит добиться заданных характеристик антенны. Для поиска оптимальной формы излучателя разобьем общую поверхность диполя на условно верхнюю и нижнюю части. Верхняя часть будет состоять из двух элементов:

первый — со сторонами s_{11} , s_{12} и длиной l_{11} ; второй — со сторонами s_{12} , s_{13} и длиной l_{12} . Нижняя часть диполя будет состоять из трех элементов: первый — со сторонами s_{21} , s_{22} и длиной l_{21} ; второй — со сторонами s_{22} , s_{23} и длиной l_{22} ; третий — со сторонами s_{23} , s_{24} и длиной s_4 . Так как излучатель расположен над рефлектором, то важную роль в формировании требуемых электрических характеристик будет играть высота подвеса излучателя над рефлектором h . Рефлектор и излучатель соединены с рефлектором через U -образную стойку, которая играет роль симметрирующего устройства, имеет следующие параметры: высоту h (расстояние от рефлектора до фазового центра), высоту переемычки между стойками диполей h_s ширину стойки s_3 . Расстояние между плечами диполя l_{s1} , l_{s2} . Выемка длиной l_{s2} в точке питания между плечами диполя позволяет увеличивать длину полоска, что играет роль согласующего устройства. Как показали предварительные расчеты и выводы из различных источников [7–10], сама форма рефлектора также будет оказывать влияние на характеристики антенны. В качестве рефлектора выберем П-образный отражатель прямоугольной формы. Размеры рефлектора выберем фиксированными шириной 150 мм, не превышающими размеры известных прототипов антенных решеток, работающих в диапазоне 1710–2700 МГц, высота П-образных краев рефлектора также будет одним из параметров оптимизации, обозначим как h_{ref} .

Расчет электрических характеристик антенны

Для поиска оптимального размера излучателя необходимо решить многокритериальную задачу с множеством параметров [7–10]. Для решения задачи воспользуемся градиентным методом оптимизации, где в качестве критериев оптимизации выберем КСВ в фидере с волновым сопротивлением 50 Ом ($\rho_{feed} = 50$ Ом), которое не превышает значения 1,5 ($k_{VSVR} \leq 1,5$) в полосе частот 1710–2700 МГц. Вторым критерием является коэффициент развязки между входами/выходами для ортогонально расположенных антенн, значение которого во всей полосе частот не должно превышать — дБ или 0,06 ($k_{s21} \leq 0,06$).

Для выбранных параметров оптимизации необходимо определить пределы, в которых будут осуществляться поиски оптимальных размеров излучателя. С одной стороны, область выбора параметров должна быть достаточной для решения задачи, с другой минимальной, так как от этого зависит трудоемкость и время решения

задачи. Как показали предварительные расчеты, чтобы не допустить развала главного лепестка диаграммы направленности на два боковых лепестка высота подвеса антенны не должна превышать 40 мм ($h = 40$ мм). Выберем следующие пределы изменения параметров:

1 мм $\leq s_{11} \leq 50$ мм, с шагом $\Delta s_{11} = 1$ мм; 1 мм $\leq s_{12} \leq 50$ мм, с шагом $\Delta s_{12} = 1$ мм; 1 мм $\leq s_{13} \leq 50$ мм, с шагом $\Delta s_{13} = 1$ мм; 1 мм $\leq s_{21} \leq h - 1$ мм, с шагом $\Delta s_{21} = 1$ мм; 1 мм $\leq s_{22} \leq h - 1$ мм, с шагом $\Delta s_{22} = 1$ мм; 1 мм $\leq s_{23} \leq h - 1$ мм, с шагом $\Delta s_{23} = 1$ мм; 1 мм $\leq s_{24} \leq h - 1$ мм, с шагом $\Delta s_{24} = 1$ мм; 1 мм $\leq l_{11} \leq 30$ мм, с шагом $\Delta l_{11} = 1$ мм; 1 мм $\leq l_{12} \leq 30$ мм, с шагом $\Delta l_{12} = 1$ мм; 0 мм $\leq l_{21} \leq 30$ мм, с шагом $\Delta l_{21} = 1$ мм; 0 мм $\leq l_{22} \leq 30$ мм, с шагом $\Delta l_{22} = 1$ мм; 25 мм $\leq h \leq 40$ мм, с шагом $\Delta h = 1$ мм; 1 мм $\leq h_s \leq 20$ мм, с шагом $\Delta h_s = 1$ мм; 2 мм $\leq s_3 \leq 10$ мм, с шагом $\Delta s_3 = 1$ мм; 5 мм $\leq s_4 \leq 15$ мм, с шагом $\Delta s_4 = 1$ мм; 1 мм $\leq l_{s1} \leq 10$ мм, с шагом $\Delta l_{s1} = 1$ мм; 1 мм $\leq l_{s2} \leq 10$ мм, с шагом $\Delta l_{s2} = 1$ мм; 5 мм $\leq h_{ref} \leq 40$ мм, с шагом $\Delta h_{ref} = 5$ мм.

$$f(m_{opt}) = \min_{m_{opt}} \left(\sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{k_{VSVR,i}(m_{opt})}{n} - k_{VSVR} \right) + \left(\frac{k_{s21,i}(m_{opt})}{n} - k_{s21} \right) \right) \right);$$

где $m_{opt} = (s_{11_{opt}}, s_{12_{opt}}, s_{13_{opt}}, s_{21_{opt}}, s_{22_{opt}}, s_{23_{opt}}, s_{24_{opt}}, s_{3_{opt}}, s_{4_{opt}}, l_{11_{opt}}, l_{12_{opt}}, l_{21_{opt}}, l_{22_{opt}}, l_{s1_{opt}}, l_{s2_{opt}}, h_{s_{opt}}, h_{opt}, h_{ref_{opt}})$, n — количество отсчетов по частоте рабочего диапазона радиостанции; $k_{VSVR} = 1,5$ — требуемое значение КСВ; $k_{VSVR,i}$ — значение КСВ на i -том шаге итерации; k_{s21} — требуемое значение коэффициента развязки; $k_{s21,i}$ — значение коэффициента развязки на i -том шаге итерации.

На основе численных методов электродинамики была разработана компьютерная модель антенны и проведены расчеты. В частности, для проверки сходимости результатов расчеты проводились методом конечных разностей во временной области (КРВО) и методом конечных элементов (МКЭ). В результате решения оптимизационной задачи по поиску минимального значения целевой функции, были получены следующие геометрические размеры антенны: $s_{11} = 23$ мм, $s_{12} = 12$ мм, $s_{13} = 7$ мм, $s_{21} = 10$ мм, $s_{22} = 13$ мм, $s_{23} = 17$ мм, $s_{24} = 20$ мм, $s_3 = 7$ мм, $s_4 = 9$ мм, $l_{s1} = 4$ мм, $l_{s2} = 2$ мм, $l_{11} = 19$ мм, $l_{12} = 9$ мм, $l_{21} = 12$ мм, $l_{22} = 0$ мм, $h_s = 5$ мм, $h = 39$ мм, $h_{ref} = 30$ мм.

Оптимизированная форма излучателя получилась сложной структуры. Результат решения оптимизационной задачи представлен на рис. 2.

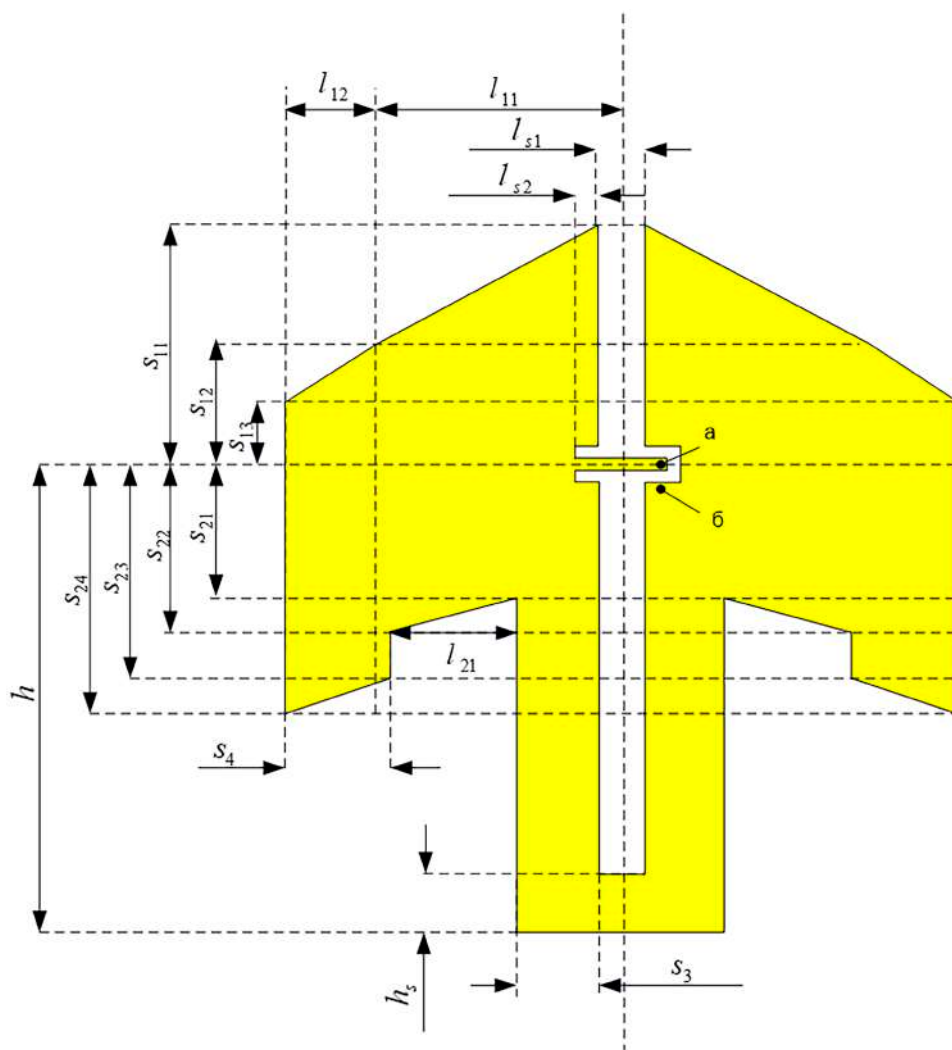
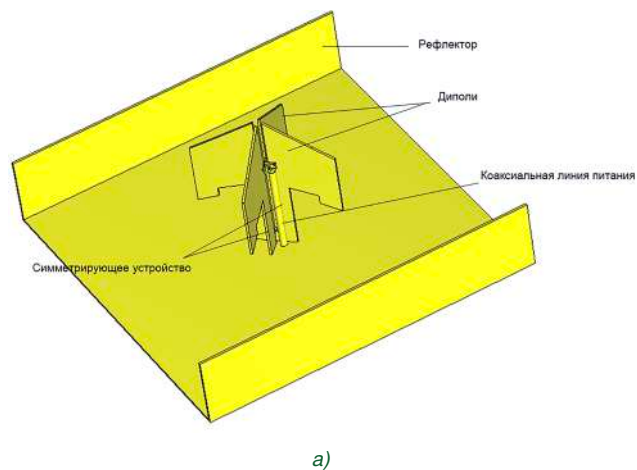
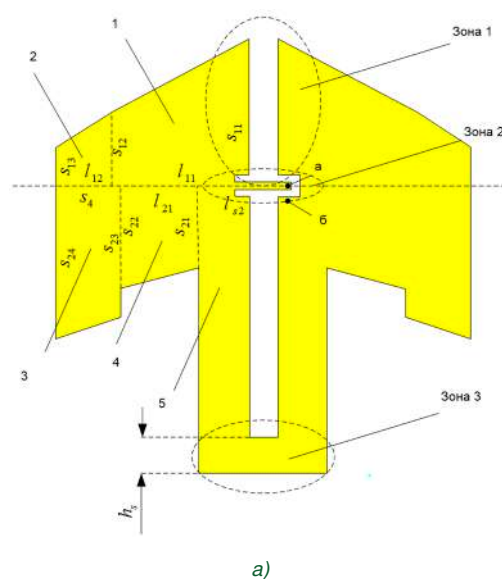


Рис. 2. Результаты оптимизации. Внешний вид одного элемента ортогональных диполей

Общие размеры диполя составили: длина 60 мм, максимальная высота над рефлектором 62 мм. Общий вид пары оптимизированных ортогональных диполей над рефлектором представлен на рис. 3.



а)



а)

Рис. 3. Общий вид ортогональных диполей над рефлектором: а) общая структура ортогональных диполей; б) общая структура оптимизированного диполя

В результате расчетов и решения оптимизационной задачи общая модель планарных цельнометаллических ортогональных диполей будет включать в себя следующие составные части: диполи, симметрирующее устройство, линия питания антенн, рефлектор. Сложную излучающую поверхность плеча диполя условно можно разделить на несколько частей: четыре трапеции и U-образное симметрирующее устройство (рис. 3, б). Трапеция 1 с длиной сторон s_{11} , s_{12} и длиной основания l_{11} связана электрически через сторону длиной s_{12} с трапецией 2 с длиной сторон s_{12} , s_{13} и длиной основания l_{12} ; трапеция 3 с длиной сторон s_{21} , s_{22} и

длиной основания l_{21} , а также трапеция 4 с длиной сторон s_{23} , s_{24} и длиной основания s_4 электрически связаны между собой через стороны с длинами s_{22} и s_{23} ; основание трапеции 1 электрически связано с основанием трапеции 3 и 4 и симметрирующим устройством; основание трапеции 2 электрически связано с основанием трапеции 3; основание трапеции 4 электрически связано с симметрирующим устройством 5 через сторону длиной s_{21} ; симметрирующее устройство 5 электрически связано с рефлектором.

Сложная структура металлического диполя позволяет добиться согласования в требуемой полосе частот. График КСВ представлен на рис. 4.

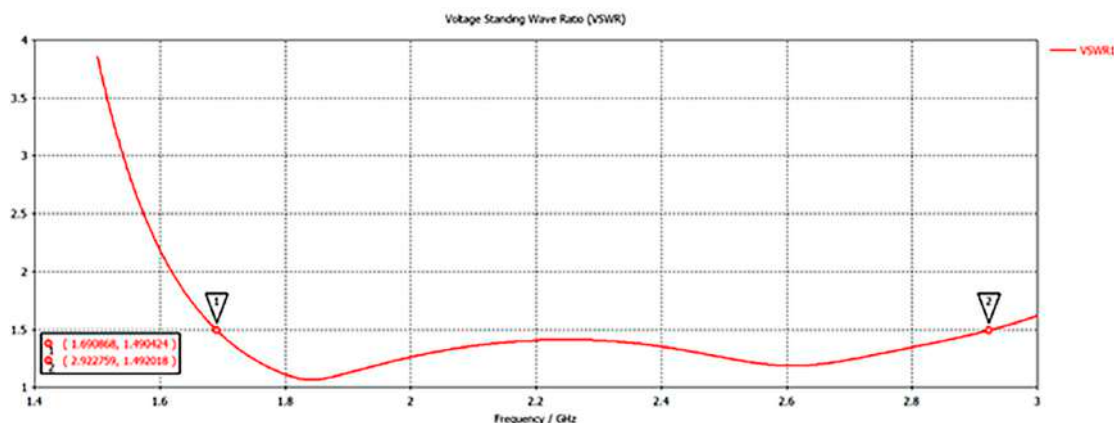


Рис. 4. График КСВ в фидере с волновым сопротивлением 50 Ом

Результаты расчета показали, что у оптимизированных элементов антенной решетки значение КСВ полностью удовлетворяет требованиям. Имеется запас по ширине полосы частот, который позволяет в некоторой степени компенсировать погрешности при конструировании экспериментального образца. Как показали расчеты, разработанный элемент антенной решетки для требуемой полосы частот обеспечивает согласование по

КСВ не выше 1,4 ($kVSWR \leq 1,4$), что существенно повышает энергетические характеристики антенной системы.

Следующий важный параметр для двух антенных устройств, работающих в непосредственной близости, это коэффициент развязки между входами/выходами для ортогонально расположенных антенн. На рис. 5 представлен график зависимости коэффициента развязки от частоты.

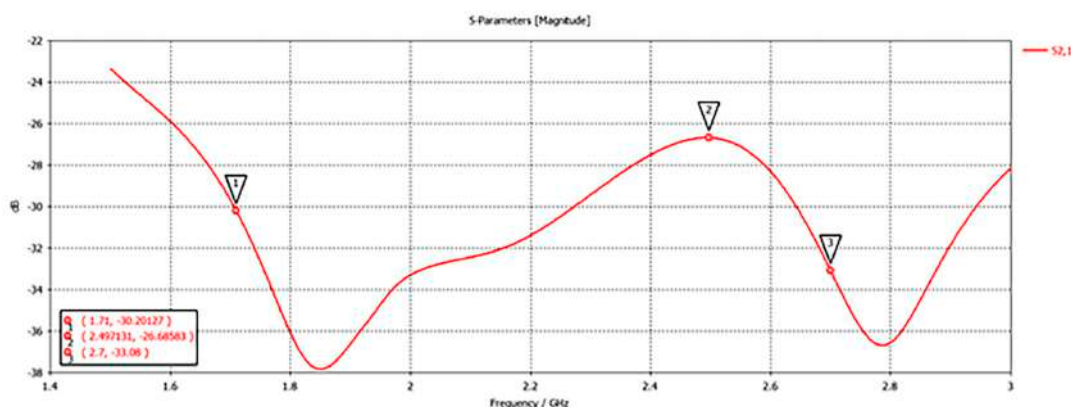


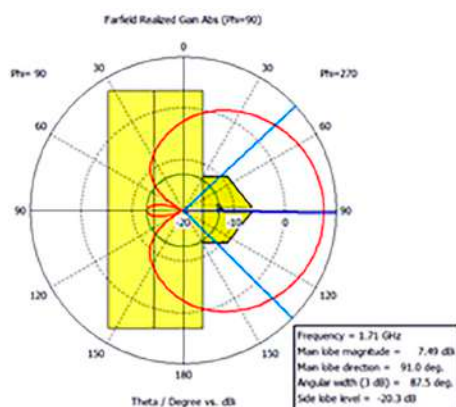
Рис. 5. Коэффициент развязки между ортогональными излучателями элемента антенной решетки

Развязка между ортогональными диполями в требуемой полосе частот не превышает -26 дБ, что соответствует заданным требованиям.

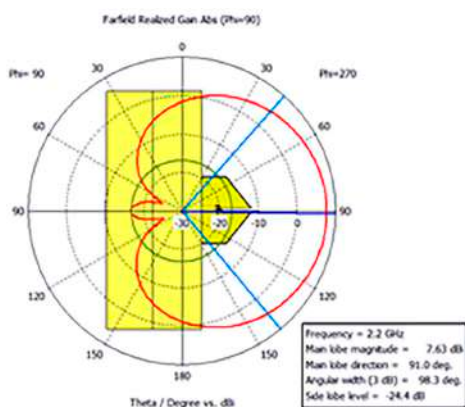
Следует отметить, что у ортогональных антенн, состоящих из излучателей, расположенных в одной плоскости с симметрирующими устройством и расположенных перпендикулярно пло-

скости рефлектора, развязка выше, чем у антенн, излучающая плоскость которых расположена в плоскости, параллельной плоскости рефлектора.

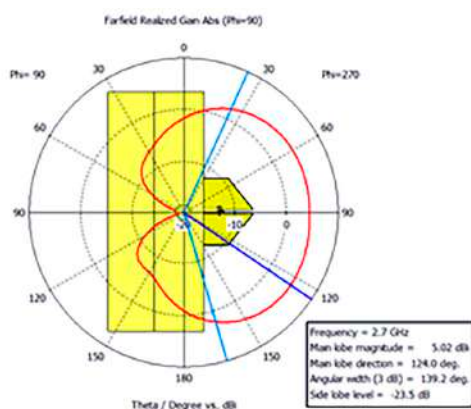
Ортогональные металлические диполи, расположенные над рефлектором, обладают направленными свойствами. Диаграммы направленности антенны представлены на рис. 6.



а)



б)



в)

Рис. 6. Диаграмма направленности для одиночного излучателя с поляризацией +45 элемента антенной решетки на разных частотах:

а) частота 1710 МГц; б) частота 2200 МГц; в) частота 2700 МГц

Коэффициент усиления одиночного элемента антенной решетки на разных частотах в пределах 8 дБ, однако, на частоте 2700 МГц, направленные свойства ослабевают, и КУ падает до 5,5 дБ. Высота антенны над рефлектором рассчитана таким образом, что позволяет сохранять однонаправленное излучение во всей полосе частот.

Результаты расчетов позволяют сделать вывод, что разработанная двухполяризационная антенна удовлетворяет требованиям по широкополосным свойствам, взаимному влиянию, форме ДН, и может быть применена в качестве элемента антенной решетки.

Разработка линейной антенной решетки

Секторная антенна базовой станции должна работать в широкой полосе частот с высоким коэффициентом усиления не менее 15 дБ. Учитывая ДН и коэффициент усиления антенного элемента, рассчитанного выше, для получения требуемого коэффициента усиления, достаточно антенной решетки из 8-ми элементов.

Расстояние между элементами антенной решетки для минимизации паразитных боковых лепестков и для недопущения «развала» главного лепестка ДН целесообразно выбирать из условия $l_n = 0,8\lambda_{min}$. Учитывая верхнюю частоту рабочего диапазона $f_{МГц_{max}}$, тогда $l_n = 89$ мм. Проведенные расчеты 8-элементной линейной антенной решетки показали, что для достижения требуемого результата достаточно, чтобы расстояние между элементами было $l_n = 87$ мм. Расчеты электрических характеристик антенной решетки проводились с учетом радиопрозрачного пластикового корпуса. Общий вид антенной решетки представлен на рис. 7.

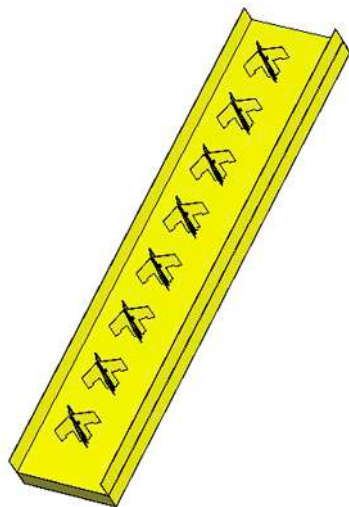


Рис. 7. Общий вид антенной решетки

Модель антенной решетки представляет собой систему из восьми пар ортогональных излучателей, расположенных над рефлектором П-образной формы. Под рефлектором расположена модель специальной ниши для антенного делителя и линий питания антенных элементов.

Был проведен расчет электрических характеристик антенной решетки. Расчет КСВ представлен на рис. 8.

Как показали расчеты, КСВ антенной решетки не превышает 1,4 в полосе частот 1710–2700 МГц. Также антенная решетка обладает требуемым значением развязки ниже -25 дБ, график представлен на рис. 9.

Диаграмма направленности антенной решетки для различных частот рабочего диапазона представлена на рис. 10.

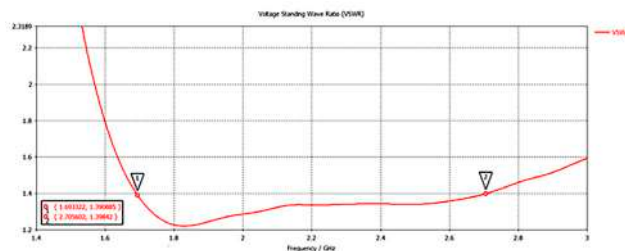


Рис. 8. Коэффициент стоячей волны в фидере с волновым сопротивлением 50 Ом

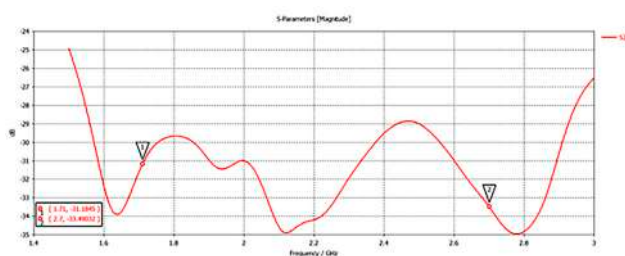
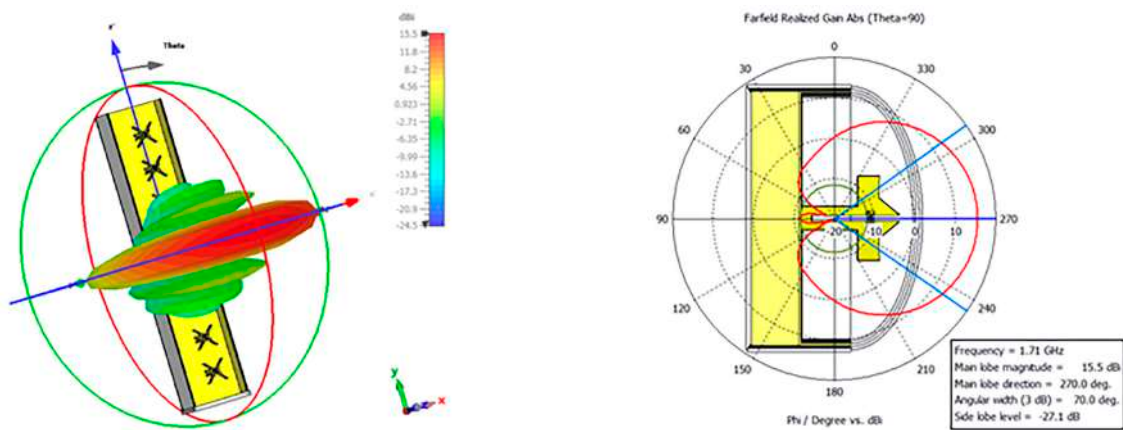
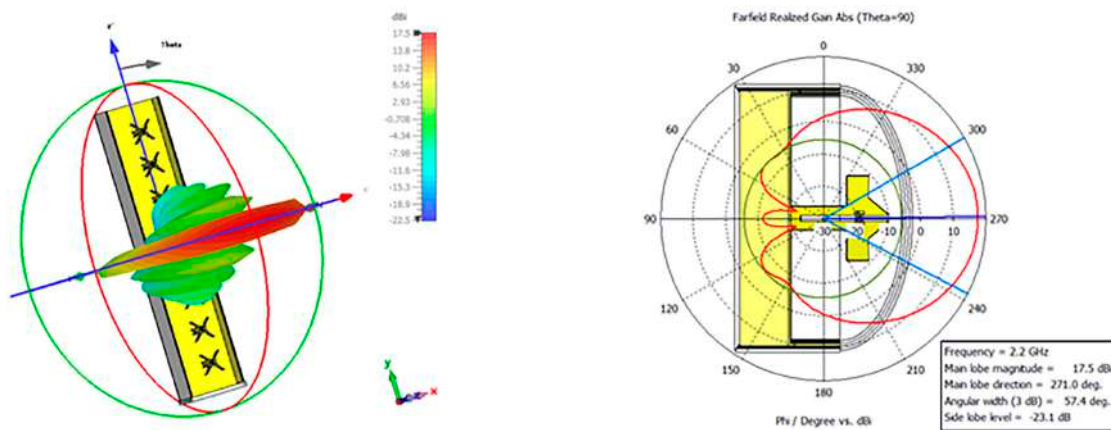


Рис. 9. Коэффициент развязки линейной антенной решетки

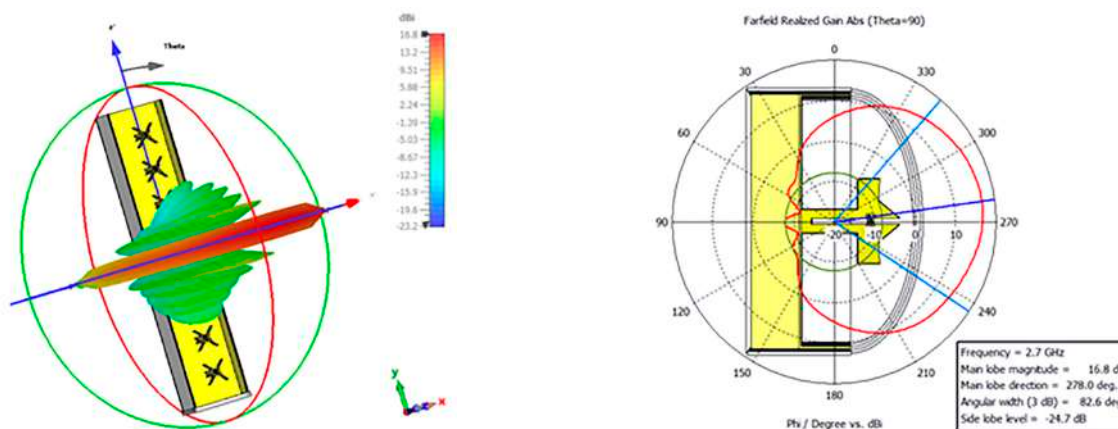
Результаты расчета ДН показали отличные результаты. Диаграмма направленности стабильна во всем рабочем диапазоне, ширина главного лепестка по уровню половинной мощности не превышает 70°, а КУ не ниже 15 дБ во всем рабочем диапазоне.



а)



б)



в)

Рис.10. Диаграмма направленности антенной решетки с поляризацией +45 на разных частотах:
 а) частота 1710 МГц; б) частота 2200 МГц; в) частота 2700 МГц

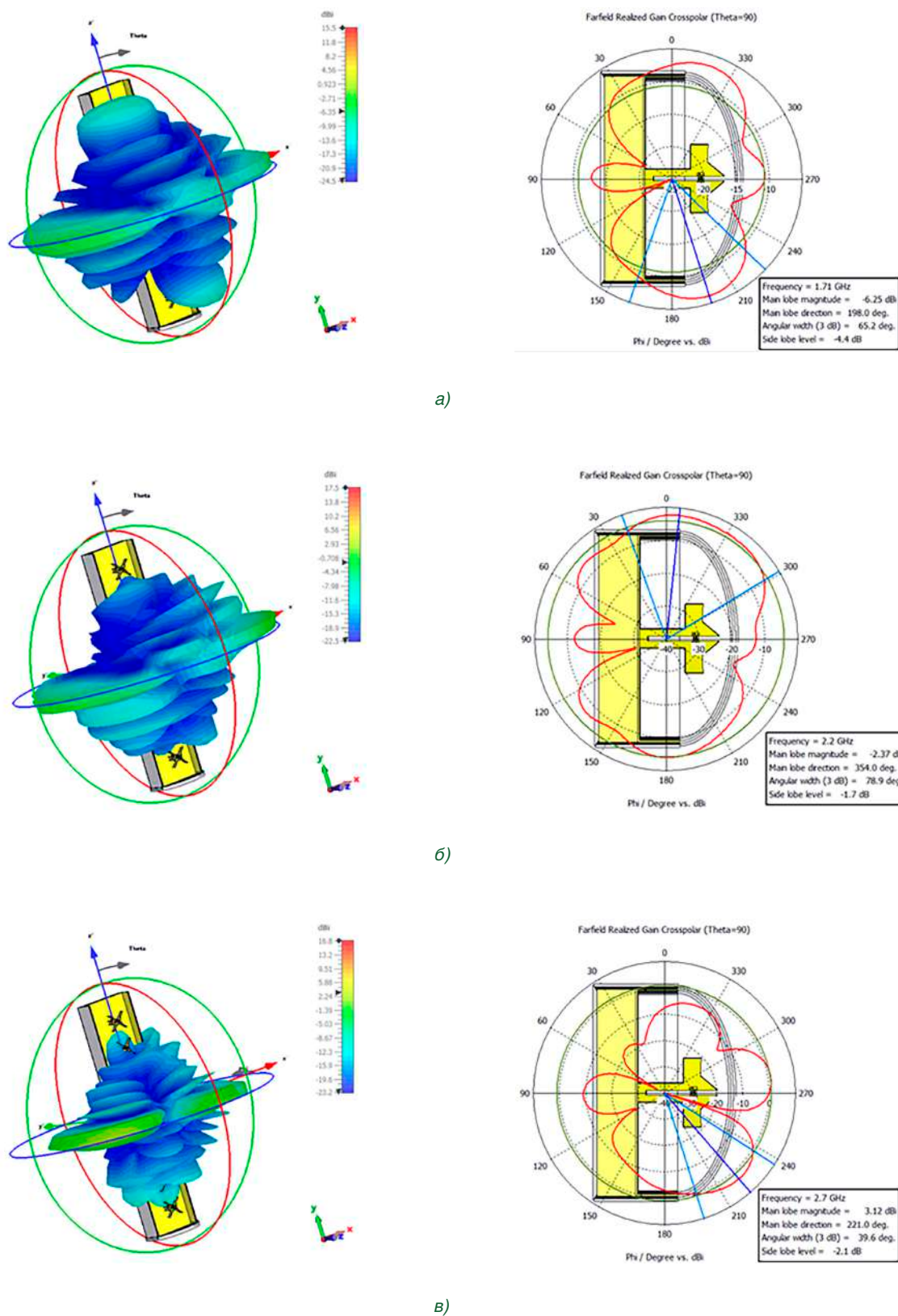


Рис.11. Кросс-поляризационная характеристика антенной решетки с поляризацией +45 на разных частотах:
а) частота 1710 МГц; б) частота 2200 МГц; в) частота 2700 МГц

Изготовление экспериментального образца

Был изготовлен полноразмерный экспери-

ментальный образец для измерения и проверки расчетных характеристик.

График КСВ представлен на рис. 12.



Рис.12. Диаграмма направленности антенной решетки с поляризацией +45 на разных частотах: а) частота 1710 МГц; б) частота 2200 МГц; в) частота 2700 МГц

Внешний вид экспериментального образца представлен на рис.13.



Рис. 13 Внешний вид экспериментального образца

Выводы

Антенна удовлетворяет требованиям по КСВ. Антенный элемент легко изготовить из металла, он не требует дополнительной гибки и сборки, достаточно установить его над рефлектором и припаять симметрирующее устройство к рефлектору. Следует отметить, что данный элемент имеет недостаток, связанный со сложностью припаивания кабеля в точку питания. Латунь достаточно тонкая и гибкая, что приводит к изменению расстояния между диполями (зазор), что требует дополнительного регулирования и подстройки при установке элемента, целесообразно доработать пригодность элемента как антенны с практической точки зрения.

Литература

1. Пак Д. А. Антенны базовых станций в сотовых сетях мобильной связи // Молодежь. Наука. Инновации, 2022. Т. 1. С. 216–218.
2. Корнюхин В. И. Плоские печатные панельные антенны для базовых станций / В. И. Корнюхин, А. В. Фадеева // Технологии информационного общества: Сборник трудов XVIII Международной отраслевой научно-технической конференции, Москва, 27–28 февраля 2024 года. – Москва: Московский технический университет связи и информатики, 2024. С. 75–80.
3. Широкополосная двухполяризационная антенная решетка планарных диполей для базовых станций мобильной связи / К. В. Кобрин, Z. Li, В. А. Следков, М. Б. Мануилов // Журнал радиоэлектроники. 2024. № 1.
4. Власенко В. И. Двухполяризационная антенна для базовой станции подвижной радиосвязи / В. И. Власенко, С. В. Дворников // Телекоммуникации. 2021. № 5. С. 8–16.
5. Кочетков В. А. Численные методы и инструменты моделирования антенных решеток РЭС СВЧ диапазона / В. А. Кочетков И. В. Солдатов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 9. С. 91–101.

6. Дубовицкий М. А. Оптимизация протяженной антенной решетки из апертурных элементов по критерию минимизации уровня дифракционного излучения / М. А. Дубовицкий, М. С. Михайлов // Молодёжь и будущее авиации и космонавтики: сборник аннотаций конкурсных работ XIV Всероссийский межотраслевой молодёжный конкурс научно-технических работ и проектов, Москва, 21–25 ноября 2022 года. – Москва: Издательство "Перо", 2022. С. 97–98.
7. Кочетков В. А. Численные методы и инструменты моделирования антенных решеток РЭС СВЧ диапазона / В. А. Кочетков, И. В. Солдатиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. № 9. С. 91–101.
8. Алгоритмы аппроксимации электромагнитного поля и синтеза диаграмм направленности антенных решеток / И. А. Баранников, Ю. Г. Пастернак, В. А. Пендюрин, С. М. Федоров // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29, № 1. С. 56–74.
9. Артемов М. Л. Направления совершенствования характеристик перспективных антенных систем / М. Л. Артемов, О. В. Афанасьев, М. П. Сличенко // Радиотехника. 2023. Т. 87, № 5. С. 184–198.
10. Перспективы миниатюризации размеров электрически малых антенн в условиях ограничений на полосы рабочих частот / В. Ф. Лось, И. О. Порохов, С. В. Агасиева, Г. А. Гудков // Электромагнитные волны и электронные системы. 2023. Т. 28, № 4. С. 57–76.

DEVELOPMENT OF AN ANTENNA GRID WITH A PLANAR ANTENNA ELEMENT

Borodulin R. U.¹, Lukyanov N. O.², Lyanguzov D. A.³

Keywords: *element optimization, reflector, high-frequency divider*

Abstract

The purpose of the work is analysis and development of an all-metal antenna element for sector base station antenna with the best electrical performance, in compared to elements made by the technology of printed boards.

Research methods: *as numerical methods for determining electrical characteristics elements the method of finite differences in time region and finite element method, as a method for determining the quasi-optimal structure of the emitter – gradient optimization method.*

The result of the study consist in the development of an antenna array, the choice of geometric sizes and electrical characteristics is justified. Comparison of the results of the calculation and measurement of the characteristics of the antenna layout showed the correspondence of practical and theoretical results. According to the results, the antenna array was made recommendations for improving the antenna structure for a practical point of view were formulated.

The scientific novelty consist in resulting structure planar antenna element.

References

1. Pak D. A. Antenny bazovyh stancij v sotovyh setjah mobil'noj svjazi // Molodezh'. Nauka. Innovacii. 2022. Т. 1. С. 216 – 218.
2. Kornjuhin V. I. Ploskie pechatnye panel'nye anteny dlja bazovyh stancij / V. I. Kornjuhin, A. V. Fadeeva // Tehnologii informacionnogo obshhestva: Sbornik trudov XVIII Mezhdunarodnoj otraslevoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Moskva 27–28 fevralja 2024 goda. – Moskva: Moskovskij tehniceskij universitet svjazi i informatiki, 2024. S. 75 – 80.
3. Shirokopolosnaja dvuhpoljarizacionnaja antennaja reshetka planarnyh dipolej dlja bazovyh stancij mobil'noj svjazi / K. V. Kobrin Z. Li, V. A. Sledkov, M. B. Manuilov // Zhurnal radioelektroniki. 2024. № 1.
4. Vlasenko V. I. Dvuhpoljarizacionnaja antenna dlja bazovoj stancii podvizhnoj radiosvjazi / V. I. Vlasenko, S. V. Dvornikov // Telekommunikacii. 2021. № 5. S. 8 – 16.
5. Kochetkov V. A. Chislennye metody i instrumenty modelirovanija antennyh reshetok RJeS SVCh diapazona / V. A. Kochetkov, I. V. Soldatikov // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. 2021. № 9. S. 91 – 101.

¹Roman U. Borodulin, Dr.Sc. (in Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Radiocommunications of the Military Academy of Communications, Saint-Petersburg, Russia. E-mail: borodulroman@yandex.ru

²Nikolay O. Lukyanov, Ph.D. (in Tech.), Senior Lecturer of the Department of Radio Communication of the Military Academy of Communications, Saint-Petersburg, Russia. E mail: lukyanovno@yandex.ru

³Danila A. Lyanguzov, Ph.D. (in Tech.), Head of department (organization training scientific pedagogical personnel) of Military Academy of Communications, Saint-Petersburg, Russia. E mail: danilalgz@yandex.ru

6. Dubovickij M. A. Optimizacija protjazhennoj antennoj reshetki iz aperturnyh jelementov po kriteriju minimizacii urovnja difrakcionnogo izlucheniya / M. A. Dubovickij, M. S. Mihajlov // Molodjzh' i budushhee aviatsii i kosmonavtiki: sbornik annotacij konkursnyh rabot XIV Vserossijskij mezhotraslevoj molodjzhnyj konkurs nauchno-tehnicheskikh rabot i proektov, Moskva, 21–25 nojabrja 2022 goda. – Moskva: Izdatel'stvo "Pero", 2022. S. 97 – 98.
7. Kochetkov V. A. Chislennye metody i instrumenty modelirovaniya antennyh reshetok RJeS SVCh diapazona / V. A. Kochetkov, I. V. Soldatkov // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki. – 2021. № 9. S. 91 – 101.
8. Algoritmy approksimacii jelektromagnitnogo polja i sinteza diagramm napravlenosti antennyh reshetok / I. A. Barannikov, Ju. G. Pasternak, V. A. Pendjurin, S. M. Fedorov // Jelektromagnitnye volny i jelektronnye sistemy. 2024. T. 29, № 1. S. 56 – 74.
9. Artemov M. L. Napravlenija sovershenstvovanija harakteristik perspektivnyh antennyh sistem / M. L. Artemov, O. V. Afanas'ev M. P. Slichenko // Radiotekhnika. 2023. T. 87, № 5. S. 184 – 198.
10. Perspektivy miniatjurizacii razmerov jelektricheski malyh antenn v uslovijah ogranichenij na polosy rabochih chastot / V. F. Los', I. O. Porohov, S. V. Agasieva, G. A. Gudkov // Jelektromagnitnye volny i jelektronnye sistemy. 2023. T. 28, № 4. S. 57 – 76.



НЕОБХОДИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОДГОТОВКЕ ВОЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ И КАДРОВОГО РАЗВИТИЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Иванов В.Г.¹, Лукьянчик В.Н.²

DOI:10.21681/3034-4050-2025-1-86-91

Ключевые слова: военное образование, военные учебные заведения, военный вуз, стандарт, объект, специалист, требование, училище, выпускник.

Цель исследования: анализ образовательного процесса в Вооруженных Силах Российской Федерации по подготовке офицерских кадров в военных учебных заведениях.

Методы исследования. Логический анализ подготовки офицерских кадров в военных учебных заведениях

Результат. Рассмотрен образовательный процесс в Вооруженных Силах Российской Федерации по подготовке офицерских кадров в военных учебных заведениях с учетом трансформации его в Болонскую систему в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом. Приведены негативные факторы, которые не способствовали улучшению профессиональной подготовки военного специалиста с учетом современных требований. Рассмотрены основные аспекты (направления), направленные на реформирование военного образования.

Научная новизна исследование показывает объективную необходимость в изменении подготовки кадрового потенциала Вооруженных Сил Российской Федерации.

Введение

Динамичность решаемых задач и скоротечность ведения военных действий при массированном применении средств огневого воздействия (поражения) противника предъявляют повышенные требования к таким свойствам, как оперативность и своевременность принятия решений и доведения их до управляющих объектов (систем поражения) в минимальное время. Новые инфокоммуникационные технологии, средства вооруженной борьбы, системы вооружения, новации в вооружении, изменения в формах и способах применения военной силы на всех уровнях (стратегия, оперативное, искусство, тактика) предъявляют повышенные требования к профессиональной подготовке специалистов.

Реформирование военного образования

Давайте посмотрим в прошлое и сопоставим с настоящим, что же произошло в образовательной системе Российской Федерации и какое влияние она оказала на образовательный процесс в Вооруженных Силах, на подготовку офицерского корпуса не только в военных вузах,

но и в учебных военных центрах и военных кафедрах гражданских учебных заведений.

Так в 1992 году было подписано соглашение по реформированию и унификации образовательной системы государства по стандартам европейского союза (ЕС). Система высшего образования РФ последовательно разработала и внедрила 3 образовательных стандарта (рис1) [1, 2].



Рис. 1. Этапы перехода к Болонской системе

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

²Лукьянчик 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-lukyanichik@bk.ru

В 2010 г. начал реализовываться План социального развития ВС РФ, рассчитанный на период до 2020 года, основная задача — совершенствование профессионального образования и подготовки военнослужащих и государственных гражданских служащих по новым стандартам. Речь шла о непрерывном профессиональном военном образовании. Планом предусматривалось — к 2017 г. вывести систему военного образования в число 50 лучших вузов страны, а к 2020 г. качественные параметры системы военного образования должны были достигнуть показателей, сравнимых с 5-ю ведущими армиями мира. Предполагалось, что выпускник ВУЗа, будет готов приступить к исполнению должностных обязанностей без дополнительной войсковой подготовки (рис. 2) [2]. Основные изменения произошли в период 2008–2014 годы, когда в большинстве военных учебных заведений произошли организационно-штатные преобразования в образовательной деятельности и подготовки курсантов и слушателей для каждого вуза. Ну и самое, наверное, ключевое — Вузы были наделены правом самостоятельно разрабатывать квалификационные требования к будущему военному специалисту и на их основе разрабатывать учебные планы и программы, а также определять перечень вступительных испытаний и минимальный порог требований к ним.



Рис. 2. Подготовка по специальности

С начала реформ прошло 30 лет, сегодня можно говорить о том, что несмотря на проделанную работу каких-то качественных или инновационных изменений в системе высшего военного образования не произошло, а для высоко технологичных специальностей необходимо говорить о его ухудшении. В военном образовании по-прежнему актуальны вопросы: какой специалист нужен армии XXI века, как и чему

его учить, на чем и кому его учить. Ответит ли на этот вопрос Федеральный государственный образовательный стандарт (ФГОС 4) покажет время [4].

В СССР существовала единая многоуровневая, стройная, согласованная между гражданским и военным сегментом система высшего образования. Программа высшего образования базировалась на единых вступительных требованиях к абитуриентам и была ориентирована на дальнейшее профессиональное предназначение выпускников.

Высшие гражданские технические университеты (институты) готовили и выпускали инженеров, говоря современным языком, для условно двух укрупнённых групп специальностей: проектно-конструкторское направление и производственно-технологическое.

Такие же два направления обучения существовали в военных училищах (командное и инженерное); командные училища с четырехлетним сроком обучения готовили и выпускали командиров, которые получали квалификацию — «инженер по эксплуатации» (рис. 3) [2].

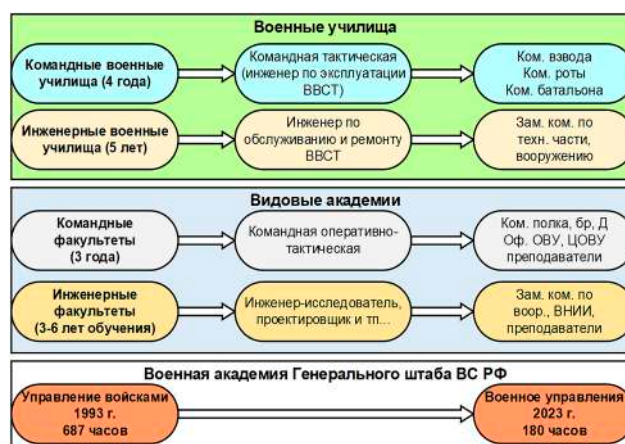


Рис.3. Военный сегмент высшего образования

Программа подготовки предусматривала их служебный рост до командира батальона включительно. Инженерные училища сроком обучения пятилетним готовили и выпускали заместителей командиров по технической части, которые имели квалификацию — «инженер по обслуживанию и ремонту». Офицеры были способны организовать обслуживание и сложный ремонт узлов и агрегатов. На следующем уровне образования — видовые академии. В академиях существовало два основных направления

подготовки — командный и инженерный факультеты. Выпускники командного факультета предназначались на должности командиров соединений и воинских частей, а также в штабы и органы военного управления. Слушатели на инженерных факультетах обучались более чем на 10 специальностях.

Завершившим обучение присваивалась одна из инженерных квалификаций (инженер-исследователь, инженер-испытатель, инженер-математик, и др.) и предназначались в военно-научные, научно-исследовательские, проектно-конструкторские, испытательные организации и военные представительства.

Данной категорией выпускников обеспечивались научно-исследовательские институты, центры, управления, отделы, проектно-конструкторские организации и предприятия оборонно-промышленного комплекса, что способствовало проведению фундаментальных исследований в области разработки и созданию перспективных систем (комплексов) вооружения [5].

Перечисленный перечень направлений подготовки показывает, что в академиях формировались квалифицированные кадры, которые со временем получив практический опыт службы, были способны к разработке уставных нормативно-правовых документов, концепций развития и реализации военно-технической политики вида (рода) войск, главного управления, службы.

Федеральный закон 2012 года № 272-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» установил единую государственную политику в сфере образования и сформировал единое образовательное пространство на территории РФ. Образование стало относиться к сфере услуг, а цель получения образования — обеспечить конкуренцию выпускников вузов на рынке труда.

Авторы закона не учли, что военная служба особый вид федеральной государственной службы, где военному специалисту гарантировано трудоустройство.

Для военных вузов гуманизация высшего образования (в соответствии с Болонским подходом) обернулась гуманитаризацией. В программах специалитета бюджет учебного времени за счет военных и естественно-научных дисциплин сокращён в два и более раза, в программах магистратуры такие дисциплины как математика, информатика отсутствуют.

Так, в гражданских вузах, базовую часть ФГОС специалитета, как правило, определяют корпоративными интересами, тем самым бюджет учебного времени вариативной части

специалитета снижается за счет увеличения нагрузки других компетенций.

Выполнение требований ФГОС, Плана социального развития заставили Заказчиков кадров МО РФ пойти по пути изменения согласованной структуры и логики подготовки военных специалистов, а оптимизация системы высшего военного образования РФ в 2011 году привела к сокращению так называемых «непрофильных кафедр». Условно говоря, в «военно-технических» вузах под оптимизацию попали общевоинские кафедры, а в общевоинских вузах «непрофильными» оказались технические.

Отсутствие единой логики на разных уровнях образования, «многообразие» в учебных программах привело к тому, что актуальные сегодня и перспективные завтра вопросы рассматриваются на уровне — быть ознакомлены или иметь представление. В результате выпускники попадают в такие условия, когда «бегло» изученные особенности при решении вопросов управления становятся основным содержанием их служебной деятельности. Поэтому важное значение должно придаваться отработке такого материала в часы самостоятельной подготовки.

Имеют место и такие эпизоды, когда изучение отдельных тем вызвано необходимостью сложившейся обстановкой (условиями) боевого применения войск (сил) в бою и операции, хотя такие действия могут носить временный (эпизодический) характер. Например, из опыта проведения СВО, когда на начальном этапе нашло применение батальонно-тактических групп.

Несогласованность образовательных программ привела к существенной разнице в квалификации и знаниях между специалистами центральных органов военного управления, с одной стороны, педагогическими и научными работниками с другой, войсковыми офицерами и разработчиками вооружения военной и специальной техники с третьей.

Результаты анализа существующих подходов к модернизации системы военного образования в РФ показывают, что в ходе реформирования не был учтен опыт высшего военного профессионального образования технологически ведущих стран НАТО (Франция, ФРГ, Великобритания), каждая из которых, не смотря Болонский процесс, сохранила свою национальную систему воинского обучения и воспитания военных кадров [7].

В настоящее время система высшего военного образования ВС РФ находится на этапе разработки стандарта 4 поколения. Который в общих чертах направлен в среднем образовании

на более раннюю профессиональную ориентацию школьников (так называемую функциональную грамотность), в высшем образовании — расширение спектра направлений подготовки с одновременным сужением профессиональной специализации будущего офицера, что входит в противоречие с технологической идеологией создания перспективных средств и комплексов вооруженной борьбы. Опыт СВО показывает, чем ближе офицер к линии фронта, тем более универсальным военным специалистом он должен быть.

Вся передовая наука — междисциплинарная. Серьезные научные достижения сегодня делаются на стыке разных дисциплин. Междисциплинарный подход обеспечивают в первую очередь учебные дисциплины, физика и математика. Пример — искусственный интеллект — это одновременно кибернетика, физиология мозга и наука о больших данных. Современные средства и комплексы вооруженной борьбы — это глубоко интегрированные комплексы обмена информацией средств разведки, навигации и поражения. Из опыта проведения СВО фактически можно утверждать, что идет борьба в электромагнитном спектре в которой, не зная современных цифровых технологических решений, невозможно эффективно спланировать применение своих средств и организовать эффективное радиоэлектронное противодействие или уничтожение высокотехнологичных средств и систем противника.

Так, наиболее совершенной системой передачи данных, связи, целеуказания и поражения обладают американские стратегические беспилотные летательные аппараты. Для организации борьбы с ними требуется понимание процессов поиска целей, для этого необходимо объединить усилия РЭБ, РЭП, ПВО и огневого поражения. Следовательно, осуществить технологический прорыв в сфере военных высоких технологий без решения задачи кадрового развития невозможно.

С позиций педагогической науки качество образования определяется четырьмя факторами (рис. 4) [7].

1. Уровень знаний абитуриентов.
2. Качество учебных планов и программ. Именно в них закладывается, какие предметы и сколько часов отводится на изучении тех или иных дисциплин. Не менее важно соблюсти баланс между фундаментальной базой и практической деятельностью.
3. Преподаватель. Глубина его познаний, методы, которые он использует — все это сказывается на уровне подготовки курсанта и слушателя.
4. Инфраструктура вуза: оборудование, вычислительная техника, возможность использования современных, цифровых технологий обучения.



Рис. 4. Факторы, формирующие инновационный ВУЗ и влияющие на качество образовательной деятельности

Очевидно, что назрела необходимость в корректировке целей военного обучения и изменении подходов в формировании образовательной траектории военного специалиста.

Один из возможных вариантов — это создание или восстановление единого образовательного пространства Вооруженных Сил Российской Федерации. Необходимо отказаться от подготовки менеджеров и вернуться к подготовке военных специалистов, которые знают современные отечественные и зарубежные технологические тренды и способны в условиях развития новой цифровой реальности к экспертно-аналитической работе и определению направлений развития военных технологий и технологий двойного назначения. Необходимо восстановить единые требования для поступающих в военные вузы — математика, физика, информатика должны стать обязательными предметами для сдачи во все вузы МО РФ.

Образовательными программами должно быть предусмотрено изучение критически важных информационных технологий, влияющих на состояние безопасности Российской Федерации. Одним из итогов обучения слушателей должно стать сформированное убеждение, что

информация, автоматизированные системы, цифровые технологии являются стратегическим ресурсом военной организации государства [8].

Преподавательская деятельность должна быть направлена на формирование инновационного мышления обучаемого; умение работать в режиме многозадачности и в условиях дефицита времени; умение не воспроизводить знания, а мыслить творчески, нестандартно. Результатом приобретения компетенций будущего должен быть не объем усвоенного и запомненного материала, а развитие когнитивных способностей; умение анализировать, работать с информацией, критическое мышление, решение проблем.

Выводы

Изменение подходов в подготовке военных специалистов и кадровом развитии Вооруженных Сил Российской Федерации должно привести к тому, чтобы отечественное профессиональное военное образование в XXI веке стало тем стратегическим ресурсом, который позволит достигнуть интеллектуального лидерства в теории и практике военного искусства.

Литература

1. История. Реализация ФГОС основного общего образования: методическое пособие для учителя / Е. А. Крючкова, О. Н. Шапарина. — М.: ФГБНУ «Институт стратегии развития образования РАО», 2022. — 121 с.
2. Военная мысль в изгнании [Электронный ресурс]: http://militera.lib.ru/science/0/pdf/sb_v_izgnanii.pdf/. дата обращения: 2.02.2024).
3. Инженерное образование: концепция и макет ФГОС ВО четвертого поколения / А. И. Рудской [и др.] — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2020. 93 с. — (Серия: Инженерное образование).
4. Кучурин В.В. Целевые ориентиры школьного Исторического образования в обновленной версии ФГОС основного общего образования // Преподавание истории и обществознания в школе. — 2022. №3. — С.55–64.
5. Немецкая военная система обучения — основа «Блицрига» [Электронный ресурс]: <https://voenflot.ru/interesnye-statii-iz-interneta/nemetskaya-voennaya-sistema-obucheniya-osnova-blitsruga/>. Дата обращения: 2.08.2024).
6. Инновации в образовательной деятельности при подготовке в военном вузе специалистов связи / В.Н. Лукьянчик, В.Г. Иванов, М. А. Гудков, Васильева Т. Г. Инновационная деятельность в Вооруженных Силах Российской Федерации. Труды всеармейской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 509–515.
7. Харченко Е.Б. Цифровая образовательная среда подготовки военных кадров: основные вызовы, Проблемы и пути их решения // Педагогика и психология: академический журнал. 2023. № 2 (2). С. 14–18.
8. Современные подходы по созданию единого образовательного пространства в целях подготовки специалистов связи с учетом развития учебно-тренировочных средств / В. Иванов, К. Григорьева, Е. Андриенко. САПР и графика. 2020. № 3 (281). С. 37–41.

THE NEED FOR CHANGES IN THE TRAINING OF MILITARY SPECIALISTS AND PERSONNEL DEVELOPMENT THE ARMED FORCES OF THE RUSSIAN FEDERATION

Ivanov V.G.²., Lukyanchik V.N.¹.

Keywords: military education, military educational institutions, military university, standard, facility, specialist, requirement, college, graduate.

The purpose of the study: To analyze the educational process in the Armed Forces of the Russian Federation for the training of officers in military educational institutions.

Research methods. Logical analysis of officer training in military educational institutions

Result. The article considers the educational process in the Armed Forces of the Russian Federation for the training of officers in military educational institutions, taking into account its transformation into the Bologna system in accordance with the Federal State Educational Standard. The negative factors that did not contribute to improving the professional training of a military specialist, taking into account modern requirements, are given. The main aspects (directions) aimed at reforming military education are considered.

The scientific novelty of the study shows the objective need to change the training of the personnel potential of the Armed Forces of the Russian Federation.

References

1. History. Implementation of the Federal State Educational Standard for Basic General Education: a methodological guide for teachers / E. A. Kryuchkova, O. N. Shaparina. Moscow: Institute of Educational Development Strategy of the Russian Academy of Education, 2022 – 121 p.
2. Military thought in exile [Electronic resource]: http://militera.lib.ru/science/0/pdf/sb_v_izgnanii.pdf /. Date of access 2.02.2024).
3. Engineering education: the concept and layout of the fourth-generation FGOS HE / A. I. Rudskoy [et al.]- St. Petersburg: Publishing House of Polytechnic. University, 2020 – 93 p. – (Series: Engineering education).
4. Kuchurin V.V. The targets of school historical education in the updated version of the Federal State Educational Standard for Basic General Education // Teaching history and social studies at school. – 2022 – No. 3. – pp.55-64.
5. The German military training system is the basis of the "Blitzkrieg" [Electronic resource]: <https://voenflot.ru/interesnye-stati-iz-interneta/nemetskaya-voennaya-sistema-obucheniya-osnova-blitzriga/>. Accessed 2.08.2024).
6. Innovations in educational activities in the training of communications specialists at a military university / V.N. Lukyanchik, V.G. Ivanov, M.A.Gudkov, Vasilyeva T.G. Innovative activities in the Armed Forces of the Russian Federation. Proceedings of the All-Army scientific and practical conference. Saint Petersburg, 2022. pp. 509-515.
7. Kharchenko E.B. Digital educational environment for military personnel training: main challenges, problems and ways to solve them // Pedagogy and Psychology: an academic journal. 2023. No. 2 (2). pp. 14-18.
8. Modern approaches to creating a unified educational space for the training of communication specialists, taking into account the development of educational and training facilities / V. Ivanov, K. Grigorieva, E. Andrienko. CAD and graphics. 2020. No. 3 (281). pp. 37-41.

¹Vasily G. Ivanov, Dr.Sc. of Military Sciences, 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

²Valentin N. Lukyanchik, Ph.D., 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



SCIENTIFIC PEER-REVIEWED JOURNAL

№1 (04) 2025 r.

Published 6 times a year

The journal is registered by the Federal
Service for Supervision of Communications,
Information Technology and Mass
Communications, Registration Certificate
PI № FS77-88069 от 16.08.2024

Editor-in-Chief

Vasily IVANOV, *Ph.D., Ass. Professor, Moscow*

Chairman of the Editorial Council

Alexander RUBIS, *Ph.D., Moscow*

Assistant Editor-in-Chief

Grigory MAKARENKO, *Senior Research Fellow, Moscow*

Editorial Board

Maxim, PYLINSKY *Dr.Sc., Professor, Belarus*
Gennady RYZHOV, *Dr.Sc., Professor, Moscow*
Yuri STARODUBTSEV, *Dr.Sc., Professor, St. Petersburg*
Evgeny KHARCHENKO, *Ph.D., Professor, Moscow*

Editorial board

Mikhail BUINEVICH, *Dr.Sc., Professor, St. Petersburg*
Evgeny GLUSHANKOV, *Dr.Sc., Professor, St. Petersburg*
Sergey IVANOV, *Dr.Sc., St. Petersburg*
Alexander KOZACHOK, *Dr.Sc., Ass. Professor, Orel*
Sergey KOROBKA, *Dr.Sc., Moscow*
Andrey KOSTOGRYZOV, *Dr.Sc., Professor, Moscow*
Sergey MAKARENKO, *Dr.Sc., Ass. Professor, St. Petersburg*
Alexey MARKOV, *Dr.Sc., Ass. Professor, Moscow*
Anatoly RYZHKOV, *Dr.Sc., Professor, Moscow*
Nikolay SAVISHCHENKO, *Dr.Sc., Professor, St. Petersburg*
Igor SIVAKOV, *Dr.Sc., Moscow*
Vladimir TSIMBAL, *Dr.Sc., Professor, Serpukhov*
Oleg FINKO, *Dr.Sc., Professor, Krasnodar*

Founder and publisher

Federal State Budgetary Institution «16 Central Research and
Testing Institute» of the Ministry of Defense of the Russian
Federation

Signed to the press on 10/02/2025.

The total circulation is 120 copies. The price is free Postal
address: 1st Rupasovsky lane, 1, 141006,
Mytishchi, Moscow region, Russia
E-mail: editor.tis@yandex.ru Tel.: +7 (995) 153-43-88.

The requirements for the manuscripts are posted on the
website: <https://telemil.ru/>

CONTENTS

CONGRATULATION

Zarudnitsky V.....2

INFORMATION CONFRONTATION IN THE MILITARY SPHERE

THE PROBLEM OF ENSURING INFORMATION SECURITY OF CONTROL SYSTEMS FOR ROBOTIC COMPLEXES IN THE CONDITIONS OF THEIR COMBAT USE

Starodubtsev Yu.I., Khudainazarov Yu.K., Ermolaev V.E.....3

ANALYSIS OF THE «NAVSTAR SATELLITE RADIO NAVIGATION SYSTEM OF THE USA AS AN OBJECT OF ELECTRONIC WARFARE»

Anufriev A.A., Chirkin P.M., Shipunov V.A.....20

PURPOSE, GOALS, OBJECTIVES AND SCOPE OF APPLICATION OF COMPLEXES OF SMALL-SIZED UNMANNED AERIAL VEHICLES, THEIR CLASSIFICATION

Sokolov A.P., Ermolaev V.E., Khudainazarov Yu.K.....34

SIMULATION OF COMBAT OPERATIONS AND MILITARY SYSTEMS

WORK METHODOLOGY OF OFFICIALS OF THE UNION OF THE REPUBLIC OF BELARUS USING A DIGITAL TWIN

Padishin S.A., Savitsky A.Yu.....44

MILITARY ELECTRONICS

POSSIBILITIES OF USING LI-FI TECHNOLOGY AT COMMUNICATION NODES OF SPECIAL-PURPOSE CONTROL POINTS

Pryadkin A.M., Zaikin R.V., Lukyanchik V.N.....52

EARTH STATION CONSTRUCTION PROPOSALS WITH PARTIAL CHANNELS

Dragunov M.Yu.....60

WAYS TO INCREASE THE BANDWIDTH OF BROADBAND RADIO COMMUNICATION SYSTEMS WITH CODE DIVISION OF CHANNELS

Brezhnev D.V., Vdovchenko E.S., Savelieva M.V., Abilov V.N.....68

MILITARY CONTROL, COMMUNICATION AND NAVIGATION SYSTEMS

DEVELOPMENT OF AN ANTENNA GRID WITH A PLANAR ANTENNA ELEMENT

Borodulin R. U., Lukyanov N. O., Lyanguzov D. A.....74

DISCUSSION PODIUM

THE NEED FOR CHANGES IN THE TRAINING OF MILITARY SPECIALISTS AND PERSONNEL DEVELOPMENT THE ARMED FORCES OF THE RUSSIAN FEDERATION

Ivanov V.G., Lukyanchik V.N.....86

TELECOMMUNICATIONS AND COMMUNICATIONS

№1 (04) 2025

DOI: 10.21681/3034-4050



WWW.TELEMIL.RU
EDITOR.TIS@YANDEX.RU