

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ и СВЯЗЬ

№3 (06) 2025

ТЕМА НОМЕРА:

ВИЗУАЛЬНЫЕ ОБРАЗЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ВОЗДЕЙСТВИЯ В ИНФОРМАЦИОННОМ
ПРОТИВОБОРСТВЕ

ТЕХНОЛОГИИ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ
ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

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 специализируется на публикации статей
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
СТАРОДУБЦЕВ 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 Ивнаович, 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, С. С. Игнатов – верстка,
А. М. Старков – маркетинг и подписка

Подписано к печати 28.06.2025 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

ВОЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ,
СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗРАБОТКАХ
АО «НТЦ ВСП «СУПЕРТЕЛ ДАЛС»

Лукин И. А., Мельников С. В. 2

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЕ АНТЕННЫ
ДЛЯ ПОРТАТИВНЫХ И НОСИМЫХ
РАДИОСТАНЦИЙ ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА

Альшеницкий В. А., Круглов А. С. 6

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ПЕРСПЕКТИВНОЙ КВ СИСТЕМЫ ВОЕННОЙ
РАДИОСВЯЗИ В РЕЖИМЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО
КВАЗИМЕССЕНДЖЕРА

Шिशкин Ю. В. 22

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ
ЛИНИЙ ДЕКАМЕТРОВОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ
МНОГОКРАТНОГО ПРИЕМА СИГНАЛОВ ЛИНЕЙНОЙ
ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Сметанин С. С. 30

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, МОДЕЛИРОВАНИЕ
БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ И СИСТЕМ ВОЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ

ЧАСТНЫЕ МОДЕЛИ ПРЕВЕНТИВНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ОТКАЗОВ: КУМУЛЯТИВНАЯ И ВЕРОЯТНОСТНО-
ГРАФОВАЯ

Будко П. А., Южакова А. А. 35

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ ВОЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ

Худайназаров Ю. К., Соколов А. П., Ермолаев В. Е. 42

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОТИВОБОРСТВО
В ВОЕННОЙ СФЕРЕ

ВИЗУАЛЬНЫЕ ОБРАЗЫ КАК ИНСТРУМЕНТ
ВОЗДЕЙСТВИЯ В ИНФОРМАЦИОННОМ
ПРОТИВОБОРСТВЕ В ВОЕННОЙ СФЕРЕ

Сухинин В. В. 59

ВОЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, АППАРАТУРА
КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ВОПРОСЫ УЧЕТА АТМОСФЕРНЫХ
И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ ОТКРЫТОЙ
АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Маммадов А. М., Ибрагимова А. Э. 65

СТУПЕНИ ЗАЩИТЫ ЛИТИЙ-ИОННЫХ
АККУМУЛЯТОРОВ

Корнилов Д. Ю., Морозов А. Н., Слепов С. Н., Абрамкин Р. В. 70

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗРАБОТКАХ АО «НТЦ ВСП «СУПЕРТЕЛ ДАЛС»

Лукин И. А.¹, Мельников С. В.²

DOI: 10.21681/3034-4050-2025-3-2-5



АО «НТЦ ВСП «Супертел ДАЛС» было создано в начале 90-х годов прошлого века. В то время начался массовый переход на сетях связи от аналоговых к цифровым технологиям. АО «НТЦ ВСП «Супертел ДАЛС» выбрало своим основным направлением деятельности разработку и производство отечественного цифрового каналообразующего оборудования для первичных (транспортных) сетей связи. Основами для создания такого оборудования были принципы аналого-цифрового преобразования сигналов, согласно теореме Котельникова, и замена частотного разделения каналов (ЧРК) на временное разделение каналов (ВРК). Соответственно канал тональной частоты (ТЧ), бывший основным для аналоговых систем передачи с ЧРК, заменялся на основной цифровой канал (ОЦК) со скоростью передачи 64 кбит/с.

Первые разработки цифровых мультиплексоров велись на основе плезеохронной цифровой иерархии (PDH). Для АО «НТЦ ВСП «Супертел ДАЛС» таким оборудованием стал, сегодня уже классический, первичный мультиплексор МП.

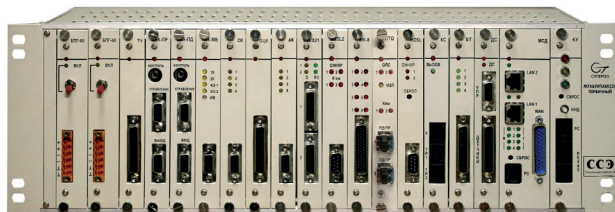


Рис. 1. Первичный мультиплексор МП-D

Операторы различных сетей связи быстро оценили достоинство такого оборудования. Кроме

существенного уменьшения массогабаритных характеристик по сравнению с оборудованием ЧРК, преимуществами первичных мультиплексоров стали простота в настройке, возможность коммутировать цифровые каналы на различные направления непосредственно в самом мультиплексоре, возможность создания на основе ОЦК различных абонентских интерфейсов для передачи как аналоговых сигналов (ТЧ, АК, СК, АКМБ, ЗВ) так и цифровых (RS, Ethernet, С1-И, ТГ). Все абонентские сигналы объединяются в один групповой сигнал со скоростью 2,048 Мбит/с (Е1).

Однако передача сигнала Е1 по проводным линиям связи на основе симметричных либо коаксиальных кабелей было затруднена из-за высокого затухания такой частоты в медных проводниках. Следовало либо создать специальный линейный интерфейс для передачи по медным проводникам, либо преобразовать сигнал Е1 в оптический вид для передачи по оптическим кабелям. Обе задачи были успешно решены. Первая на основе технологии xDSL, вторая – путем разработки оптических линейных интерфейсов в самом мультиплексоре и отдельных линейных терминалов для передачи нескольких потоков Е1 по оптическому кабелю – ОЛТ.



Рис. 2. Терминал SDSL



Рис. 3/ Оптический линейный терминал – ОЛТ 2x16 Ethernet

Со временем появилась необходимость как увеличения числа коммутируемых цифровых каналов,

¹ Лукин И. А., кандидат технических наук, старший научный сотрудник, генеральный директор АО «НТЦ ВСП «Супертел ДАЛС», Москва. E-mail: lukin_ia@supertel.ru
² Мельников С. В., кандидат технических наук, доцент, директор по спецпроектам АО «НТЦ ВСП «Супертел ДАЛС», Москва. E-mail: melnikov_sv@supertel.ru

так и повышения скорости группового сигнала. Для этих целей было разработано такое оборудование как коммутатор цифровых сигналов – КЦС и комбинированный мультиплексор для систем связи – МКСС.



Рис. 4. Коммутатор цифровых сигналов – КЦС/D



Рис. 5. Мультиплексор комбинированный для систем связи – МКСС/D

Дальнейший рост скорости передачи многоканального сигнала потребовал перехода от технологии PDH к технологии синхронной цифровой иерархии (SDH). Первым таким оборудованием в линейки разработки АО «НТЦ ВСП «Супертел ДАЛС» стал мультиплексор CM-1/4 со скоростями группового сигнала 155 и 620 Мбит/с. Однако такое оборудование в качестве сигналов для мультиплексирования использовало сигналы E1, сформированные другим оборудованием по технологии PDH (МП, КЦС). Объединить две телекоммуникационные технологии PDH и SDH удалось в разработанном нами синхронном мультиплексоре доступа – СМД.

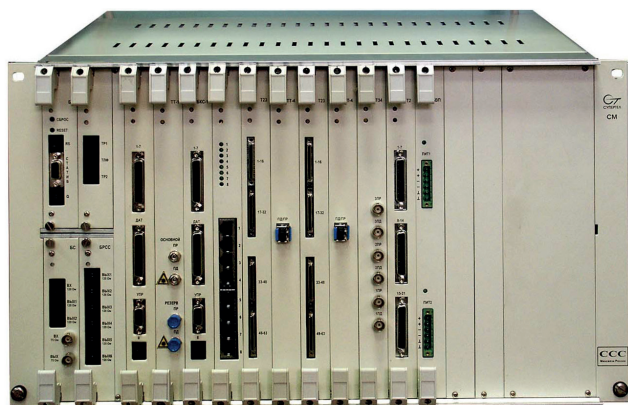


Рис. 6. Синхронный мультиплексор – CM-1/4



Рис. 7. Синхронный мультиплексор доступа – СМД

Последовательное увеличение скорости группового сигнала по технологии SDH привело к созданию мультиплексоров со скоростью 2,5 Гбит/с – ОСМ-К и 10 Гбит/с – ОСМ-КМ. Однако нашим Заказчикам требовалось дальнейшее увеличение групповой скорости. Это стало возможным с использованием технологии OTN/OTN по которой нами было разработано оборудование ОПТИПАК со скоростью передачи 100 Гбит/с. Для более эффективного использования широкополосности оптического кабеля в данное оборудование был включен блок спектрального уплотнения оптических каналов в соответствии с технологией оптического мультиплексирования DWDM на 80 спектральных каналов. Таким образом удалось добиться общей пропускной способности по одной паре волокон 8 Тбит/с.



Рис. 8. Оборудование синхронного мультиплексирования комбинированное – ОСМ-К



Рис. 8. Оборудование синхронного мультиплексирования комбинированное – ОСМ-К

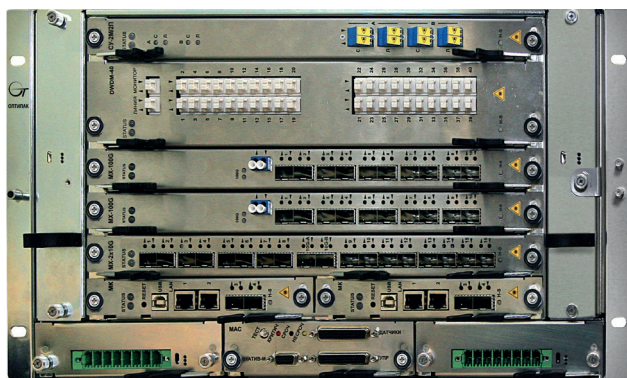


Рис. 10. Оборудование оптического транспорта и коммутации пакетов – ОПТИПАК

Все оборудование, о котором шла речь, было разработано для стационарных сетей

связи, т.е., в соответствии с ГОСТ РВ 0020 – 39.304, по группе 1.1. Когда возникла необходимость применения нашего оборудования в мобильных аппаратных связи, нами были сделаны дополнительные конструктивные доработки оборудования МП, МКСС и СМ1/4 до группы 1.3. А для возможности передачи сигналов по полевым оптическим кабелям нами была предложена технология соединения строительных длин полевого оптического кабеля на основе оптических контактов оптических волокон в разъеме вместо физических контактов, подверженных загрязнению в условиях эксплуатации полевых линий связи. Данные полевые разъемы были не только разработаны нашим предприятием, но и освоено их серийное производство.



Рис. 11. Полевой оптический кабель – ПОК-АС и вспомогательные изделия

Другие специфические задачи пришлось решать нашему предприятию при разработке аппаратно-кабельного комплекса для подводных линий связи. Помимо доработки нашего оборудования до группы исполнения 2.1, требовалось выбрать соответствующие типы подводных оптических кабелей и создать подводные оптические муфты для сращивания строительных длин подводного оптического кабеля. Эти задачи были решены в кооперации с предприятиями «ОКС 01» (г. Санкт-Петербург) и «Оптическая связь» (г. Дубна, Московская область).

Отдельно стояла задача создания подводных оптических усилителей, выполненных по группе 2.3.5, и их дистанционного питания. Сами оптические усилители по технологии EDFA

в рамках импортозамещения были разработаны и освоены в производстве нашим предприятием, а вопросы дистанционного питания были решены в сотрудничестве с предприятиями «ОКС 01» (г. Санкт-Петербург) и АО «ДНИИ «Волна» (г. Дербент).

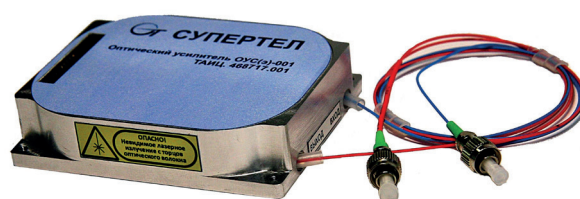


Рис. 12. Оптический усилитель EDFA – ОУС(э)-001



Рис. 13. Подводный оптический усилитель – ПОУ

Созданный аппаратно-программный комплекс был успешно использован при прокладке подводной оптической линии связи между городами Мурманск и Архангельск с потенциальной суммарной пропускной способностью 9,6 Тбит/с. Строительство было выполнено ООО «Энсис Технологии» (г. Москва).

Необходимо отметить, что созданное при разработке аппаратно-кабельного комплекса

оборудование каналообразования получилось поистине унифицированным и нашло применение не только на подводных линиях связи, но и на стационарных сетях связи различных Заказчиков. Сегодня оно успешно используется для построения сети связи Минобороны России и Генсхемы РТК.

Переход от построения линий связи к развертыванию масштабных сетей связи потребовал существенной переработки программного обеспечения для технологического управления оборудованием. Такая работа ведется нами последовательно, осуществляя переход от локальных терминалов к многоуровневой иерархической системе сетевого управления. Вместе с сетевой системой управления нашим предприятием разработан и в настоящее время модифицируется программный комплекс «Супертел-Сетевик», позволяющий проводить работы по созданию узловой основы, топологической, потоковой и физической структур сети связи, а также формировать сеть тактовой сетевой синхронизации с учетом структурной надежности сети связи.

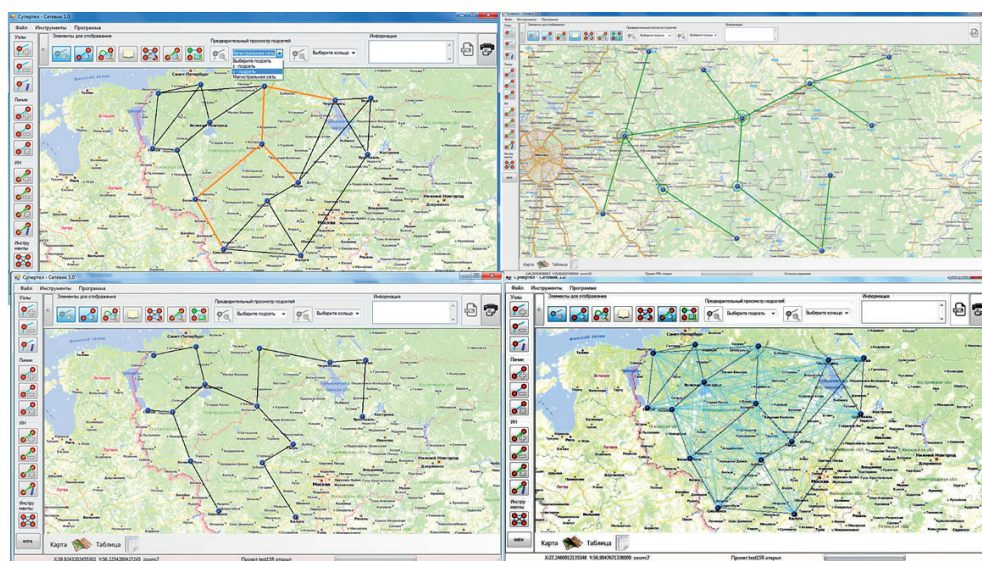


Рис. 14. Программное обеспечение – «Супертел-Сетевик»

Еще одним из перспективных направлений наше предприятие считает участие в работах по развертывании гибридных сетей связи в соответствии с утвержденной Правительством РФ в ноябре 20023 года «Стратегией развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года». В рамках данных работ мы нацелены на создание бортовых терминалов оптической связи для обмена информацией между космическими аппаратами со скоростью передачи

100 Гбит/с. При этом нам предстоит освоить еще одну группу конструктивного исполнения оборудования для космической техники 5.3.

Таким образом, одним из основных принципов деятельности АО «НТЦ ВСП «Супертел ДАЛС» является открытость к новым вызовам, новым требованиям Заказчиков и новым технологиям, какими бы сложными и даже порой фантастическими они не выглядели на первый взгляд.

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ ПОРТАТИВНЫХ И НОСИМЫХ РАДИОСТАНЦИЙ ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА

Альшенецкий В. А.¹, Круглов А.С.²

DOI:10.21681/3034-4050-2025-3-6-21

Ключевые слова: радиосвязь, диапазон частот, поддиапазон, широкая полоса, коэффициент усиления, диаграмма направленности, несимметричный штырь, диполь.

Аннотация

Цель работы — анализ современных зарубежных антенн для портативных и носимых радиостанций тактического звена и определение путей для разработки отечественных аналогов с превосходящими характеристиками.

Методы исследования: сравнение параметров антенн по данным основных производителей, представленных на рынке для армий стран НАТО, а также компьютерное моделирование и практические испытания макетного образца-прототипа отечественной трёхдиапазонной антенны.

Результаты исследования: показано, что а) ассортимент предлагаемых зарубежными производителями портативных антенн значительно расширился, из-за появления новых, более высокочастотных диапазонов, которое вызвано массовым применением РЭБ и РЭР, БПЛА и переносных РЛС; б) в стремлении улучшить характеристики своих антенн, зарубежные производители вынужденно ищут компромисс между габаритами, шириной полосы частот, коэффициентом усиления в направлении горизонта и т.д. Каждая фирма предпочитает выбирать целевым один-два основных параметра в конкретной модели. Это, в итоге, приводит к большому ассортименту антенн. В целях его сокращения появляются антенны с двумя и более поддиапазонами; в) отмечено, что разработчики «НПО АНГСТРЕМ», напротив, стремятся получить как можно больше оптимизированных параметров на каждой антенне при значительно меньшем ассортименте. В частности, весьма перспективным направлением оказалась разработка комбинированных антенн, состоящих из отдельных излучателей, имеющих отдельные согласующие устройства, и объединённых в единую конструкцию, с общим портом питания, что является новым методом сокращения номенклатуры антенн.

Практическая полезность заключается в предложенном методе создания многодиапазонных антенн комбинированного типа, опробованном на прототипе трёхдиапазонной антенны.

Введение

В условиях массового применения средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и разведки (РЭР) особое значение приобретают сверхширокополосные средства радиосвязи. Современные портативные и носимые радиостанции требуют соответствующих антенн, способных эффективно работать в широкой полосе частот и при повышенном уровне мощности. Такие антенны должны быть согласованы в широкой полосе частот (или в нескольких, более узких, полосах), при этом иметь достаточно высокий коэффициент усиления в направлении горизонта (соответствующую диаграмму направленности).

Кроме того, к антеннам предъявляются требования малозаметности, удобства эксплуатации, а это означает ограничение по габаритам. Естественно, перечисленные характеристики являются во многом противоречивыми, и при разработке антенн, отвечающих этим требованиям, всегда приходится идти на компромиссы.

Изменения в ассортименте антенн за последнее время

Сверхширокополосные антенны предыдущего поколения строились, в основном, на базе длинного ленточного полотна (излучателя) с возможностью складывания для удобной переноски, с согласующим устройством в основании. Поскольку при длине несимметричного штыря, либо каждого плеча дипольной антенны, превышающей примерно $5/8$ λ , диаграмма направленности (ДН) по углу места начинает дробиться на несколько лепестков (причины описаны в разделе «проблемы разработки»), некоторые производители применяли различные приёмы для уменьшения данного эффекта. Например, деление полотна на отрезки с фазосдвигающими индуктивностями, которые шунтируются резисторами для возможности согласования в широкой полосе частот³.

Второй вариант⁴ — антенна с коротким излучателем, имеющая цельную ДН, но эффективная

¹ Альшенецкий Владимир Анатольевич, ведущий инженер АО «НПО Ангстрем», Москва, Россия. E mail: alshenetskiy@npo-angstrom.ru

² Круглов Артём Сергеевич, ведущий инженер АО «НПО Ангстрем», Москва, Россия. E mail: KruglovAS@npo-angstrom.ru

³ Патент US 6429821 B1 aug. 6, 2002

⁴ Патент RU 216829 U1



Рис. 1а. Вид антенны APX05 («Comrod»)

только на верхних частотах диапазона. При этом для согласования короткого полотна на нижних частотах также применялись резисторы.

Все перечисленные методы имеют существенные недостатки и лишь частично решают проблему.

К тому же применение РЭБ, РЭР, широкое распространение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), переносных радиолокационных станций (РЛС), вызвали появление новых, более высокочастотных диапазонов, вплоть до 18 ГГц. Теперь уже недостаточно иметь антенну, покрывающую полосу частот 30–520 МГц, что недавно считалось практически неофициальным стандартом. Поэтому создать одну антенну, эффективно работающую во всех требуемых диапазонах, оказалось невозможным.

В современных условиях стали всё чаще применяться антенны с широкой, но всё же ограниченной полосой рабочих частот. Тем более, что устоявшиеся поддиапазоны уже сформировались для различных подразделений, исходя из специфики их работы, условий размещения и т. д. Таким образом, компромиссные решения в конструкции антенн всё чаще смещаются в сторону минимально необходимой ширины диапазона для одной антенны, с целью получения наилучших параметров.

При этом для минимизации количества применяемых антенн некоторые разработчики создают двухдиапазонные антенны, а иногда – работающие в трёх или даже четырёх диапазонах. При этом, каждый диапазон достаточно узкий, сформирован под конкретную задачу. Они будут рассмотрены в обзоре портативных антенн ниже по тексту.

Наиболее частым вариантом среди двухдиапазонных являются антенны, работающие на участках 140–170 МГц и 440–470 МГц. Дело в том, что обычный четвертьволновый штырь, установленный на портативной радиостанции, расположенной в руках оператора, имеет входной импеданс, близкий к активному сопротивлению 50 Ом, не только на основной, но и на утроенной частоте, где его длина составляет $\frac{3}{4}$ лямбда. Этот вариант обычно применяется с двухдиапазонными радиостанциями двойного назначения.

Конечно, на поддиапазоне 440–470 МГц главный лепесток ДН уже дробится из-за избыточной длины полотна, но простота конструкции, включающей в себя только гибкий штырь (тросик) и антенный соединитель (разъём), в данном случае является определяющим фактором. Некоторые производители идут на компромисс, чтобы минимизировать искажение ДН, и снижают физическую длину излучателя антенны (штыря), с дополнительным согласованием его с помощью так называемой удлинительной катушки в основании. Это исправляет ситуацию с ДН, но сужает полосу рабочих частот в каждом поддиапазоне. Подобные антенны появились достаточно давно, их много и на гражданском рынке, и мы не будем останавливаться на них в обзоре новинок.

Обзор зарубежных антенн для портативных радиостанций

Рассмотрим, какая продукция появилась в последние годы у зарубежных производителей антенн для радиостанций тактического звена. Не будем брать во внимание сверхширокополосные антенны диапазона 30–512 МГц, поскольку они уже достаточно подробно рассматривались⁵, не вполне отвечают современным требованиям по габаритам, и (или) имеют заведомо худшие параметры, чем антенны с ограниченной полосой частот.

Построим обзор снизу-вверх по частоте. На нижних частотах пока, в основном, используются однодиапазонные антенны. Здесь несколько удивил (в отрицательную сторону) один из лучших производителей портативных широкополосных антенн – «Comrod»⁶.

В стремлении сделать малогабаритным (0,5 м) несимметричный штырь диапазона 30–88 МГц, разработчик согласился на значительное снижение коэффициента усиления (КУ), который у антенны APX05 (рис. 1а) во всей полосе частот имеет значимо отрицательную величину (рис. 1б). Для расширения полосы частот малогабаритного излучателя разработчик сделал его спиральным. Добротность длинной катушки (спирали) снижается благодаря потерям на излучение, а не только из-за активных потерь на сопротивлении

⁵ <https://wireless-e.ru/antenny/antenny-dlya-radiostantsij>

⁶ <https://www.comrod.com>, дата обращения 09.01.2025

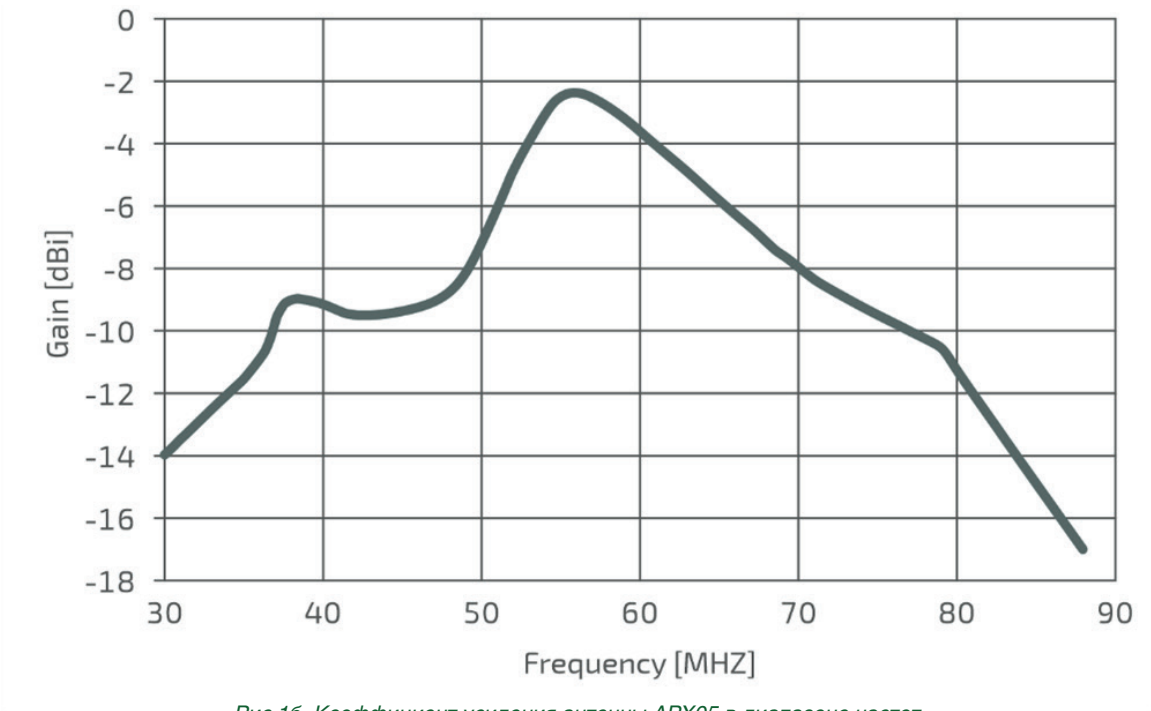


Рис.16. Коэффициент усиления антенны APX05 в диапазоне частот

Таблица 1

Технические характеристики антенны APX05

Частотный диапазон	30–88 МГц
Импеданс	50 Ом, KCBH < 3.5
Допустимая мощность	5 Вт
Соединитель	TNC Male (допускаются другие типы)
Конструкция	Спиральный излучатель в резиновой оболочке
Длина	0,5 м
Масса	81 г
Покрытие	Полиуретановый лак
Рабочая температура	От –55 °С до +71 °С

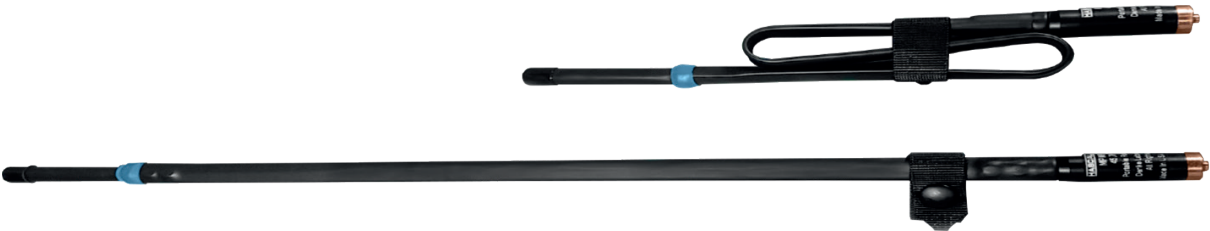


Рис. 2а. Вид антенны MPMP45.76 («Hascall-denke»)

провода. Естественно, между антенным разъёмом и излучателем есть и согласующее устройство (СУ), поскольку диапазон частот, в котором согласована антенна, достаточно широкий.

Причём, в схеме СУ, скорее всего, присутствует резистор и (или) низкочастотные реактивные

элементы. Не случайно допустимая мощность, подаваемая на антенну, составляет всего 5 Вт (табл. 1).

Другой, не менее известный производитель, «Hascall-Denke»⁷, в антенне MPMP45.76 (рис. 2а) пошёл по пути значительного сужения

⁷ <https://www.hascall-denke.com>, дата обращения 09.01.2025

полосы частот для получения большего коэффициента усиления, до 4,5 дБи (рис. 2в). Это обычно достигается коллинеарной конструкцией, обладающей повышенным КУ и, к сожалению — узкополосностью.

Антенна МРМР45.76 работает, как заявлено производителем, даже в свёрнутом виде, при этом согласование по КСВН меняется совсем незначительно (рис. 2б). Конечно, этот факт заставляет немного задуматься над способом согласования излучателя антенны (на предмет наличия резистора в схеме СУ).

Также, нельзя не заметить, что нижний предел шкалы КСВН на графиках равен нулю, а не единице, но все характеристики антенн в этой статье приведены в точном соответствии с тем, как они даны на сайтах производителей, включая опечатки и технические нестыковки. В случае с данной антенной, например, непонятна ещё и её высота в развёрнутом виде. В параметрах она указана как «overall», общая высота, но значение 0,51 м явно не соответствует размеру коллинеарной антенны, которая по определению должна быть значительно длиннее четвертьволнового штыря, т. е. — намного более 1,5 м.

Видимо, указание КУ = 4,5 дБ относительно «Stock antenna» в справочном листе совсем не случайно, и антенна вовсе не коллинеарная, а значение КУ дано относительно какой-то «типовой» антенны, имеющейся на рынке. Это — маркетинговый приём, как и сохранение КСВН в свёрнутом виде. Ведь всем знакомы фото и видео, где военнослужащие показаны со сложной антенной, видимо, вне зоны необходимости нормальной дальности радиосвязи. Либо перед посадкой внутрь бронетехники. Но антенна, не чувствительная к длине и форме излучателя, вряд ли может обладать высоким коэффициентом усиления.

Следующая фирма, «Trival-Antene»⁸, традиционно предпочитает выпускать линейку антенн разной длины на один диапазон (рис. 3). А заодно, и с разными типами разъёмов. Принципиально новых изделий на частоты 30–108 МГц у этого производителя не обнаружено.

Понятно, что характеристики антенн в линейке AD-25/CW улучшаются по мере удлинения полотна, поскольку самое большое из них не превышает 5/8 длины волны на верхней частоте диапазона.

У «Trival antene» имеются линейки антенн и с большим рядом длин полотна, но, к сожалению,

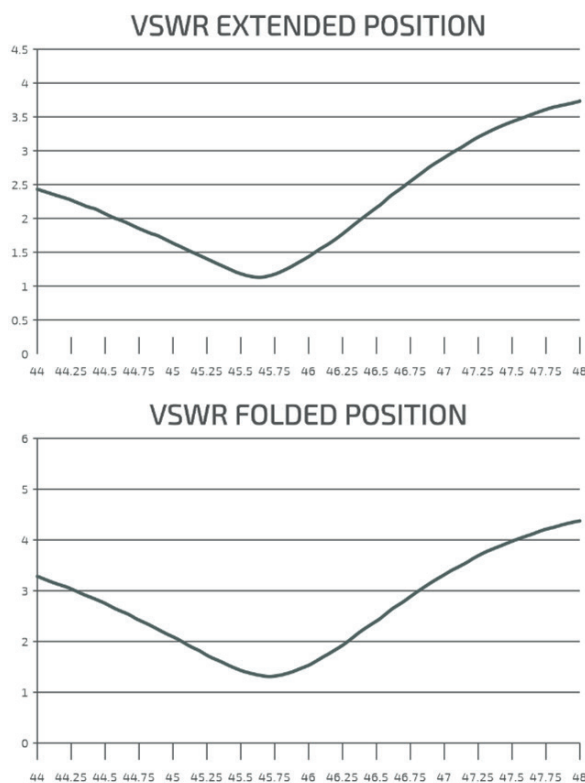


Рис. 2б. КСВН антенны в развёрнутом и в свёрнутом виде

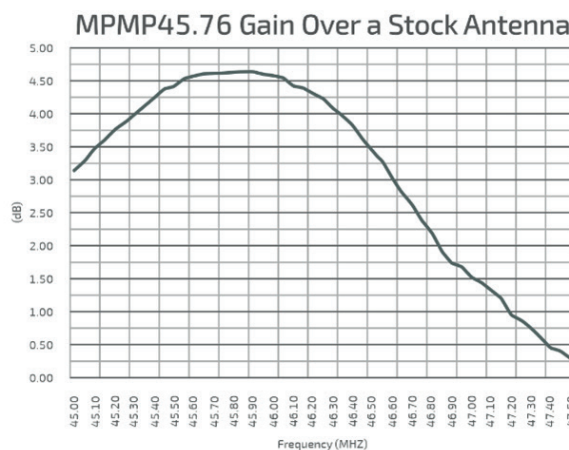


Рис. 2в. КУ антенны в диапазоне частот

в приведённых справочных данных отсутствуют основные электродинамические параметры.

Выше по частоте, от 100 до 200 МГц, всё ещё преимущественно встречаются однодиапазонные антенны. Для примера посмотрим на антенну VHF100400HH-N с диапазоном 100–400 МГц от «Comrod» (рис. 4а). Это — типичный образец сверхширокополосной антенны предыдущего поколения, но с ограниченной полосой рабочих частот.

⁸ <https://www.trivalantene.si> (дата обращения 09.01.2025)

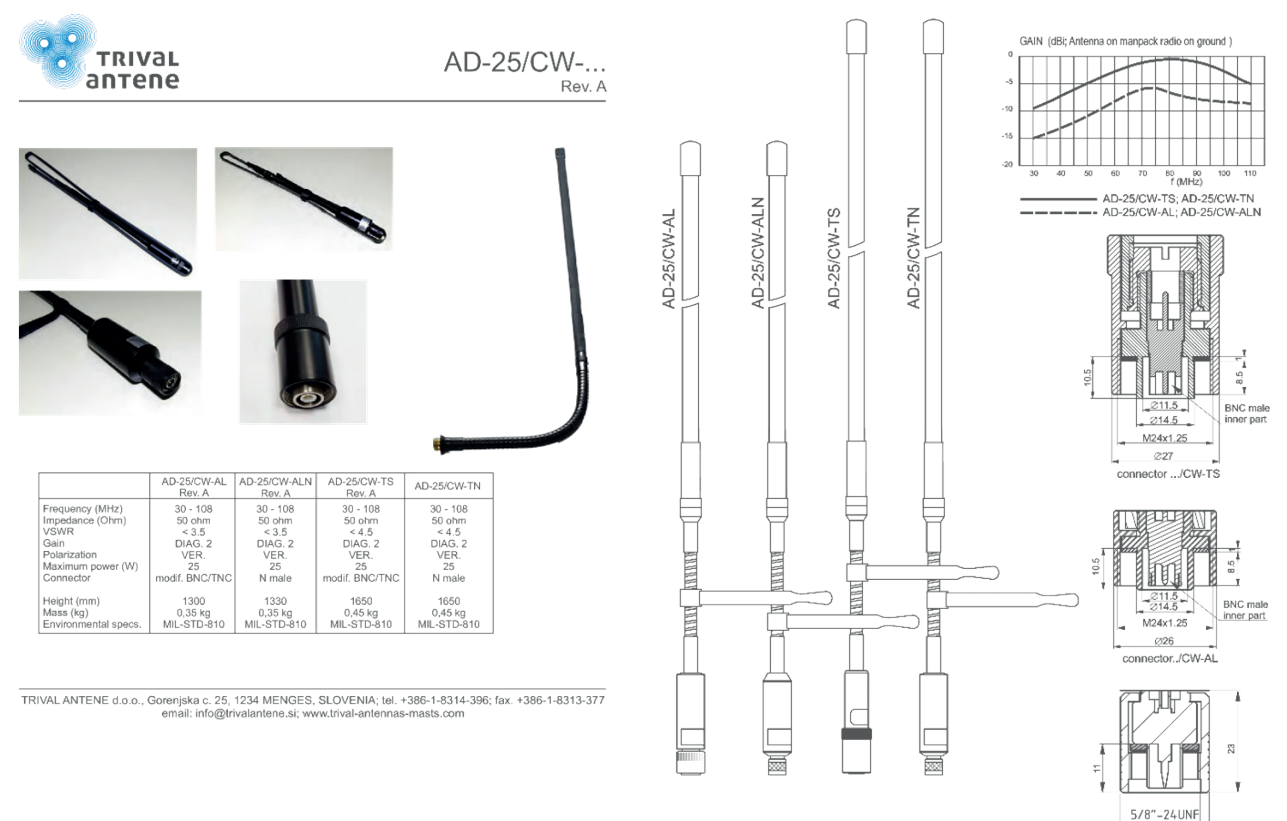


Рис.3. Параметры линейки антенн AD-25/CW («Trival antene»)

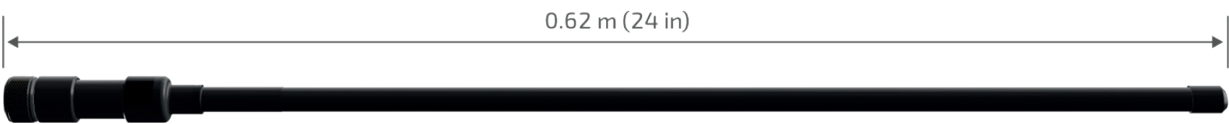


Рис.4а. Внешний вид антенны VHF100400HH-N

Таблица 2

Параметры антенны VHF100400HH-N

Частотный диапазон	100–400 МГц
КСВН	< 3.5 (см. график на рис. 46)
КУ	см. график на рис. 46
Импеданс	50 Ом
Максимальная мощность	5 Вт непрерывная 10 Вт в течение 30 мин при 20°С и 10 Вт в течение 10 мин при 50°С, 10 Вт в течение 5 мин при 70°С
Соединитель	N Type male (возможны другие)
Конструкция	Несимметричный штырь из гибкой ленты, со встроенным согласующим устройством.
Длина	62.5 см
Вес	200 г
Покрывтие	Ленточное полотно — полиолефиновая термоусадочная трубка АМУ-краска
Температурный диапазон	–55 °С, +71 °С

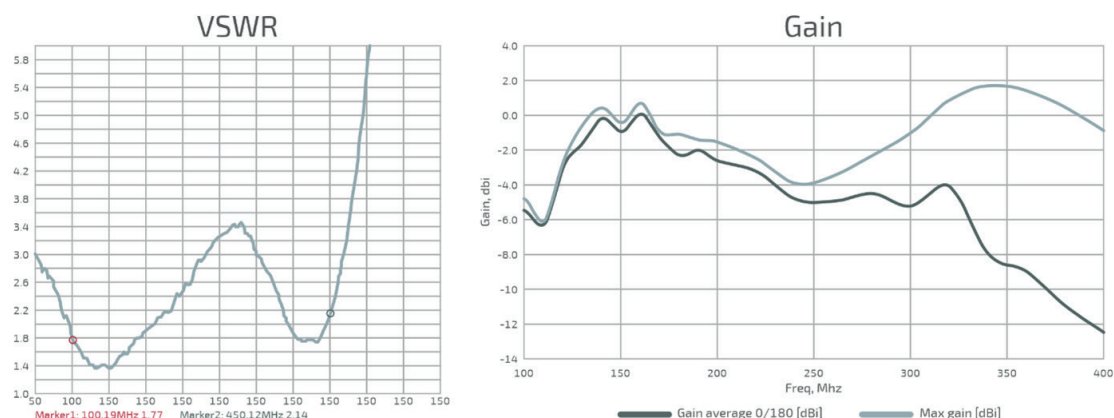


Рис.46. Графики КСВН и Ку антенны VHF100400HH-N («Comrod»)

Параметры антенны показаны в табл. 2.

Если сопоставить невысокую мощность (5 Вт), которую можно в непрерывном режиме подавать на антенну, и невысокий КУ в нижней и в верхней частях диапазона (рис. 46), можно с уверенностью сказать, что в составе согласующего устройства (СУ) этой антенны есть активное сопротивление, создаваемое либо резистором в схеме, либо потерями в сердечнике трансформатора. Также, возможно, катушки индуктивности в составе СУ имеют низкую добротность (за счёт активного сопротивления провода). Неудивительным будет и наличие конденсаторов с большим тангенсом угла потерь на высоких частотах (из личного опыта авторов). А, поскольку КУ в направлении максимума ДН

всё же выше, чем в направлении горизонта на верхних частотах, ясно, что здесь также играет роль излишняя длина излучателя (по отношению к 5/8 длины волны на верхней части диапазона).

Интересные новинки появились в диапазоне ДМВ1 у «Hascall-denke». Это – относительно малогабаритная антенна MPMP225X2AD, работающая в полосе частот 225–450 МГц, с тонким полотном круглого сечения (рис. 5). Здесь достигнуты довольно неплохие параметры, например КУ находится в пределах от минус 1 до плюс 2 дБи. В данной модели фирма ушла от традиционных форм-факторов (ленточное полотно или полотно увеличенного диаметра на гибкой ножке). Параметры антенны показаны ниже (табл. 3).



Рис.5. Внешний вид антенны MPMP225X2AD («Hascall-denke»)

Таблица 3

Параметры антенны MPMP225X2AD

Частотный диапазон	225–450 МГц
Коэффициент усиления	От минус 1 до плюс 2 дБи
КСВН	3,0: 1 максимум
Входной импеданс	50 Ом номинально
Допустимая мощность	10 Вт
Поляризация	Вертикальная
Диаграмма направленности	По азимуту 360 град. По углу места 90 град.
Соединитель	SMA розетка
Общая высота	0,46 м
Вес	120 г

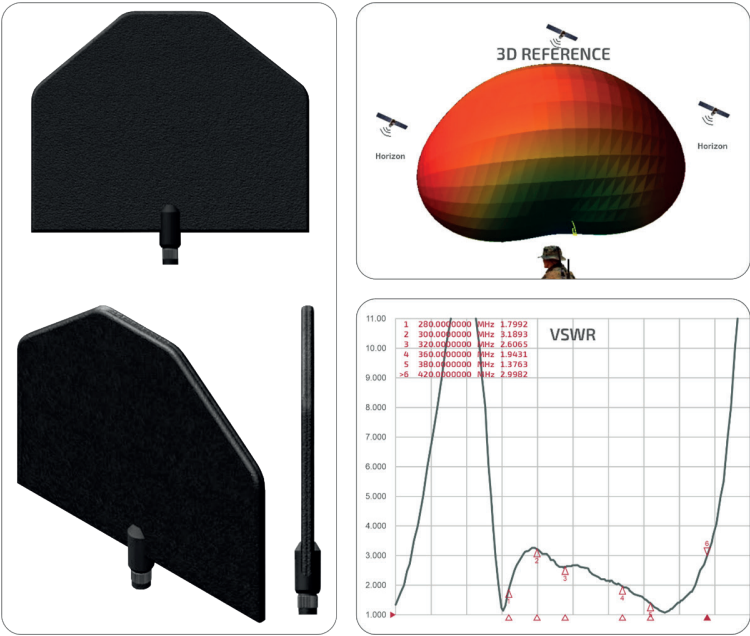


Рис.6. Внешний вид, ДН и КСВН антенны МРНР300-380 («Hascall-denke»)

Но самая необычная форма обнаружилась у антенны МРНР300-380, предназначенной для спутниковой связи SOTM-MUOS в диапазоне 300–380 МГц (рис.6).
Параметры антенны приведены в табл. 4.
Антенна, судя по описанию, форме корпуса и разъёму TNC-male, может прикручиваться непосредственно, или через переходники, на подходящие по конструкции модели портативных и носимых радиостанций. В комплекте идёт один

переходник в формате TNC-розетка – N-вилка, выполненный в виде «гусиной шейки» длиной 150 мм, и второй, аналогичный по типу соединителей, но представляющий собой отрезок кабеля длиной 610 мм.
Многодиапазонные антенны для портативных и носимых радиостанций чаще встречаются на диапазоны выше 200 МГц. Особенно большим ассортиментом таких антенн отличается «COMROD» (рис. 7, 8).

Параметры антенны МРНР300-380

Таблица 4

Частотный диапазон	300–380 МГц
Коэффициент усиления	От 0 до плюс 2 дБс (гибридная поляризация)
КСВН	3,0: 1 максимум
Входной импеданс	50 Ом номинально
Допустимая мощность	40 Вт
Поляризация	Гибридная
Диаграмма направленности	По азимуту 360 град. По углу места 170 град. (полусфера)
Соединитель	TNC вилка
Общая высота	585 мм
Ширина	585 мм
Вес	120 г



Description

- Handheld antenna designed for modern wideband radios
- Dual-band UHF and L-S Band
- UHF monopole, L-S Band dipole design
- Small form factor only 30 cm (12 in) long
- Power rating 5W CW, 25W PEP
- Designed to meet MIL-STD-810-G

Electrical Specification

Frequency	UHF: 225-450 MHz L-S Band: 700-2600 MHz
VSWR	≤ 3.5:1 (see curve)
Gain	See curve
Polarisation	Linear
Impedance	50 Ohm
Power Rating	5W CW, 20W PEP

Mechanical Specification

Length	30 cm (12 in)
Diameter	20 mm (0.79 in)
Weight	100 g (3 oz)
Connector	TNC Male

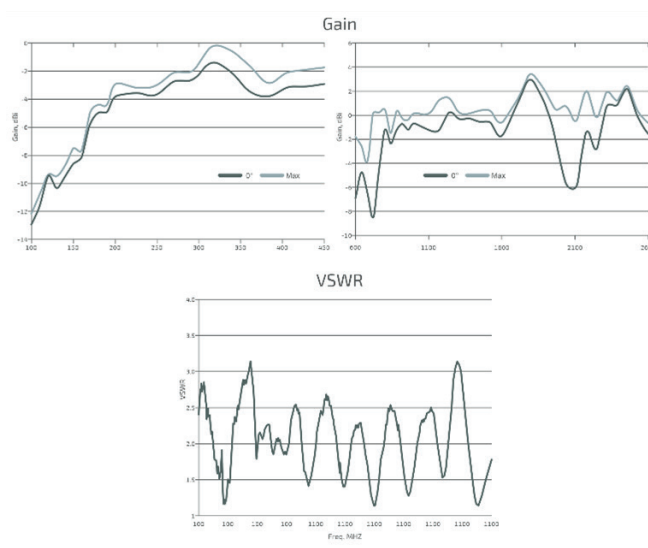


Рис. 7. Параметры двухдиапазонной антенны UHF2252600DB-NH



Features:

- Multiband LTE, 450-470/698-960/1710-2170/2500-2700 MHz
- Dipole design with gooseneck
- Designed for man-portable radios/modems
- Rugged high quality antenna with a durable construction

Electrical Specification

Frequency range	450-470 MHz 698-960 MHz 1710-2170 MHz 2500-2700 MHz
VSWR	< 3.5:1
Nominal Impedance	50 Ω
Power rating	3W CW, 5W for short periods (< 30 sec's)
Gain	See curve
Polarisation	Vertical
Connector	TNC female, others on request

Mechanical Specification

Design	Wideband dipole, and gooseneck
Length	316mm
Diameter	20mm
Weight	75g
Finish	Black paint
Temperature range	-55°C, +71°C, -67°F, +160°F

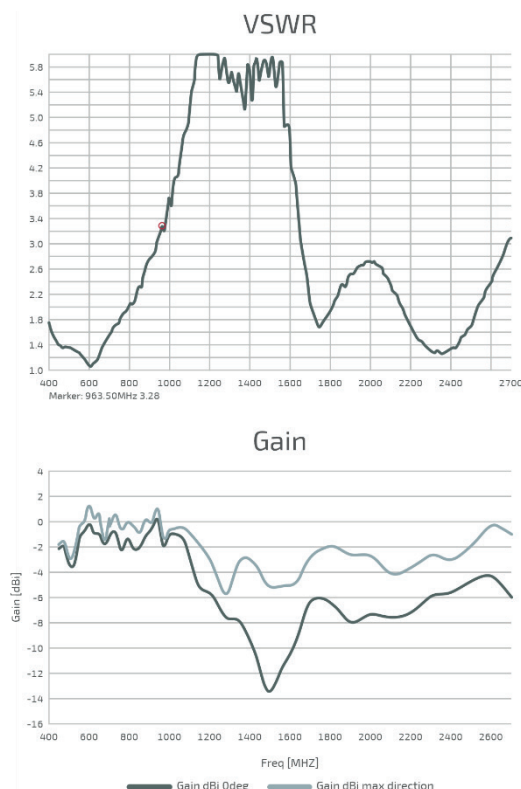


Рис. 8. Параметры четырёхдиапазонной антенны UHF427NH

Конечно, строгое деление на частотные интервалы в подобных антеннах трудно осуществить, и поддиапазоны формируются подгонкой размеров полотна и элементов СУ, иногда просто плавно перетекая один в другой.

Двигаемся ещё выше по частоте, здесь интересные новинки есть у фирмы «Harris»⁹, например, антенна на диапазон 1,6–5,9 ГГц (рис. 9).

⁹ <https://www.l3harris.com> (дата обращения 09.01.2025)

TACTICAL ROVER® CLS ANTENNA

C-, L-, and S-Band Handheld Radio-Mounted Antenna

L3Harris Tactical ROVER CLS Antenna is an excellent solution where a medium-gain, rugged, small form factor or handheld radio-mounted antenna is needed. The compact antenna has an excellent gain pattern and is easy to attach via the TNC interface connector. This antenna is often paired with L3Harris successful handheld Tactical ROVER line of products.

PRODUCT DESCRIPTION
L3Harris Tactical ROVER CLS Antenna is a compact, wideband antenna for use in a variety of handheld and mobile applications. Ruggedized design and environmentally sealed packaging provide reliable communications in harsh operating conditions. Directly mounts to the radio or can be connected through a coaxial cable for remote placement of the antenna. Weighing less than 10 ounces and capable of 40 W transmit power up to 40 watts, this antenna is an extremely versatile, multi-application solution.



Versatile, Small Form Factor, Wideband Antenna

- KEY FEATURES**
- > Transmits and receives C-, L- and S-Bands
 - > Wideband: 1.6 GHz to 5.9 GHz
 - > Excellent gain-to-size-ratio antenna element
 - > Rugged, water/dust-sealed design
 - > Excellent omnidirectional gain pattern
 - > Peak gain: +2 dB L- and S-Band, +3 dB C-Band
 - > TNC RF interface connector with easy thumbscrew
 - > Compatible with L3Harris handheld Tactical ROVER products

SPECIFICATIONS

Physical Characteristics

- Size
- > Two versions available:
 - > Original TNC thumbscrew: 3.29" (l) x 1.25" (OD)
 - > Low-profile TNC thumbscrew: 3.06" (l) x 1.25" (OD)
- Weight
- > < 10 oz.
- Antenna Connector
- > TNC male (11)

Performance Characteristics

Wideband Antenna

- > Frequency range:
 - 1.6 GHz to 5.9 GHz
- > Typical gain:
 - C-Band: 3 dBi
 - L-Band: 2 dBi
 - S-Band: 2 dBi
- > Polarization:
 - Linear (orientation)
- > Biconical omnidirectional pattern
- > Impedance: 50 ohms
- > RF power: 40 W (max)
- > Temperature:
 - Operational: -40 °C to 65 °C
 - Non-Operational: -40 °C to 85 °C



ANT-202-1 mounted on ROVER handheld



Wideband antenna for use in a variety of applications



Compatible with a variety of commercially available vehicle mounts

1. External replacement and mandatory for use with tactical ROVER

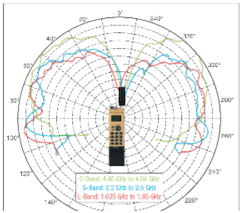


Рис. 9. Параметры портативной антенны «Harris» на диапазоны C, L, S

AM-305
CAVITY-BACKED ANTENNA

The AM-305 is a planar, cavity-backed spiral antenna operating from 8-18 gigahertz. Left-hand circular polarization is standard, but right-hand circular polarization is available as well. This antenna is ideally suited for electronic support measure applications due to its unit-to-unit uniformity and broadband frequency characteristics.

ELECTRICAL	
Frequency range	8.0 – 18.0 GHz
VSWR	-2.0 dBli at 8 GHz 0 dBli at 9 GHz +1 dBli from 12 to 18 GHz
Gain	50 ohms
Gain tracking	±0.5 dB on axis
Beam width (3 dB)	75° ±1.5° typical
Polarization	Circular
Axial ratio boresight	≤1.0 dB
±45°	≤3.0 dB
Squint	Typically ±5°
Power handling	1 W CW
MECHANICAL	
Connector	SMA female, inline with boresight
Weight	2.0 oz.
Design specification	25 G vibration
Finish	Semi-gloss black enamel, Color No. 27038
Option	Phase and amplitude matched pairs available. Specify LHCP or RHCP



KEY FEATURES

- > Electronic support measure/radar warning receiver (ESM/RWR) applications
- > Very lightweight (2 ounce) aperture
- > 8-18 GHz frequency coverage
- > RHCP or LHCP options

For further details and specifications, contact the factory at antenna.info@L3Harris.com

Рис. 10. Параметры спиральной антенны «Harris» на диапазон 8–18 ГГц

Назначение данной антенны не раскрывается подробно, но, вероятно, для управления дронами, либо для их обнаружения. Обычно, в данной полосе частот находится видеосигнал с камер БПЛА.

Другая портативная антенна «Harris», на диапазон 8–18 ГГц (рис.10), имеет круговую поляризацию (левую или правую, по выбору), и применяется в приёмниках предупреждения об облучении радиолокатором. Антенна представляет собой спиральную конструкцию.

Проблемы разработки

Основная трудность при создании эффективных сверхширокополосных антенн – устранение или уменьшение дробления лепестка ДН, чтобы он во всём частотном диапазоне был направлен в горизонт. Она тесно связана с проблемой согласования антенны во всей полосе рабочих частот.

Авторами изучались различные перспективные способы согласования полотна антенны, например, [1], [2], [3]. Но пока согласование с помощью трансформатора (под трансформатором здесь понимается не только устройство, полученное намоткой на ферритовом сердечнике, но и различные согласующие LC-цепи [4]), как самое практичное, применяется в подавляющем большинстве сверхширокополосных антенн для портативных радиостанций, работающих в МВ и ДМВ1 диапазонах. Как правило, трансформатор преобразует 200-омный импеданс полотна в 50-омный импеданс, соответствующий порту питания антенны. Соответственно, вместе с активной составляющей и реактивная часть импеданса полотна уменьшается в сторону порта антенны. Но для того, чтобы активная составляющая импеданса излучателя в большей части диапазона была около 200 Ом, нужно выбирать длину полотна, которая значительно превышает $\frac{1}{4}$ длины волны [5].

Тогда и возникает проблема сохранения правильной ДН, чтобы её основной лепесток был направлен в горизонт во всём диапазоне частот.

Из теории распределения тока вдоль излучателя известно¹⁰, что искомая форма ДН в угломестной плоскости получается при условии, что длина излучателя (несимметричного штыря или одного из плеч диполя) не превышает $\frac{5}{8}$ длины волны. При дальнейшем увеличении размера на поверхности излучателя появляются противофазные токи, и основной лепесток ДН начинает отклоняться от горизонта и делиться на побочные лепестки. При значительном увеличении длины излучателя, неизбежном в сверхширокополосной антенне

портативной радиостанции (по крайней мере, на диапазонах МВ и ДМВ1), ДН дробится на множество лепестков и получается «изрезанной».

Таким образом, при использовании одного излучателя в широком диапазоне частот, ДН только в нижней части диапазона сохраняет нужную форму, а с ростом частоты становится многолепестковой и коэффициент усиления в горизонт значительно падает, на некоторых частотах – до двухзначных отрицательных значений.

Опыт «НПО АНГСТРЕМ»

Для разработки сверхширокополосных антенн по современным требованиям у специалистов АО «НПО АНГСТРЕМ» накоплен достаточный опыт, и имеются свои «фирменные» ноу-хау. В том числе, – оформленные патентами на изобретения и полезные модели для конкретных типов антенн.

Разработчиками предложены несколько методов, которые по отдельности или в сочетании могут решить описанную выше проблему:

- Увеличение диаметра излучателя до приемлемых значений. Это расширяет полосу согласования и несколько укорачивает физическую длину излучателя по отношению к длине волны. При этом используется ступенчатая конструкция излучателя¹¹, что смещает фазу тока в нужной точке вдоль излучателя и частично устраняет появление противофазных участков.
- Использование нескольких, коаксиально или аксиально расположенных излучателей¹², каждый из которых работает в своей полосе частот, вплоть до разделения на отдельные антенны, с применением (в случае необходимости) диплексера (для варианта из 2-х излучателей) в основании антенны, для работы на один общий порт.
- Применение не только согласующего трансформатора¹³, но и отдельной цепи согласования¹⁴ для нижней части диапазона, что уменьшает необходимую длину полотна. В разработанном СУ не содержится резисторов или реактивных элементов с заметными активными потерями.

Все перечисленные методы могут применяться для создания антенн с несколькими поддиапазонами, что является актуальным сегодня. В частности, был разработан и испытан прототип трёхдиапазонной антенны.

¹¹ Патент RU2629893

¹² Патент RU2634801

¹³ Лондон С. Е., Томашевич С. В. Справочник по высокочастотным трансформаторным устройствам, М., Радио и связь, 1984, с. 14–48

¹⁴ Б. В. Чернышев. Широкополосное согласование укороченных антенн. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. № 7. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jul17/1/text.pdf>

¹⁰ Кубанов В. П., Ружников В. А., Сподобаев М. Ю., Сподобаев Ю. М. Основы теории антенн и распространения радиоволн: Учебное пособие / Под ред. В. П. Кубанова. – С.: ИНУЛ-ПГУТИ, 2016., С. 78–81.

Постановка задачи

Создание антенны с 3-мя поддиапазонами на востребованных участках МВ и ДМВ диапазонов: 70–80 МГц, 160–180 МГц, 400–490 МГц.

Для решения была предложена следующая схема построения антенны (рис.11):

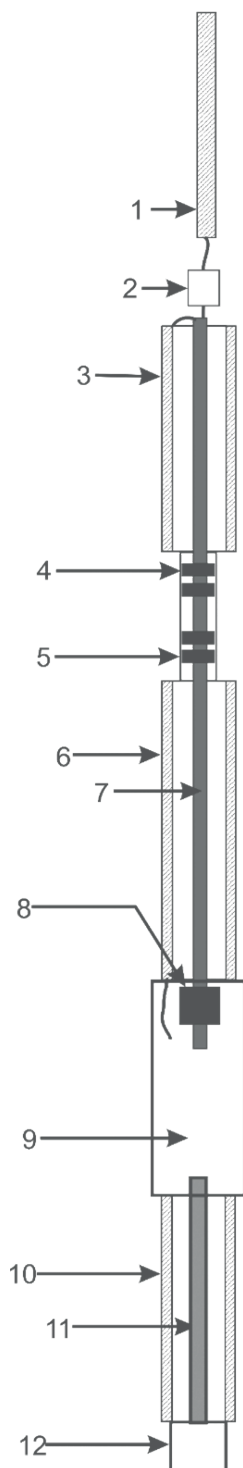


Рис. 11. Эскиз конструкции трёхдиапазонной антенны

1,3 – плечи дипольного излучателя, работающего в 2-х верхних поддиапазонах (160–180 МГц и 400–490 МГц). В качестве нижнего плеча диполя 3 используется отрезок трубки, через который проложен коаксиальный кабель питания диполя (7).

Согласование диполя выполнено с помощью СУ в виде Г-образного LC-звена (2). На кабеле (7) после выхода его из трубки (3) сформированы два дросселя (кабель несколькими витками намотан на ферритовое кольцо (4). Ниже сформирован ещё один аналогичный дроссель (5), после которого кабель заходит внутрь трубчатого излучателя 6, который работает в поддиапазоне 70–80 МГц как несимметричный штырь. На выходе излучателя (6) кабель (7), после ещё одного дросселя (8), приходит на плату диплексера (9), на которой также расположена согласующая катушка индуктивности для излучателя (6), поскольку излучатель (6) несколько укорочен по отношению к четверти длины волны.

Таким образом, на поддиапазоне 70–80 МГц излучателем является укороченный (600 мм) несимметричный штырь, а на поддиапазонах 160–180 и 400–490 МГц – диполь, имеющий длину плеч, компромиссную между четвертями длин волн на этих поддиапазонах (около 300 мм).

- Назначение дросселей (4, 5, 8) – отсечка токов по внешней стороне оплётки кабеля.
- Диплексер (9) объединяет излучатели (1, 3, и 6) и выводит их общее, изначально разделённое по частоте, питание, через коаксиальный кабель (11) на антенный соединитель (12).
- Заградительный интервал диплексера находится в пределах 100–130 МГц.
- Коаксиальный кабель (11) проходит внутри гибкой ножки («гусиной шейки»), необходимой для защиты антенного соединителя от поломок при изгибе антенны.

На рис. 11 не показаны крепёжные детали, необходимые для механической прочности антенны.

- Моделирование было выполнено с помощью ПО Ansys HFSS.
- Расчётные параметры антенны показаны на рис. 12, 13, 14, 15.

Для поддиапазонов 160–180 и 400–490 МГц моделировался коэффициент усиления в горизонт (излучатель на этих участках дипольный, и поднят выше головы оператора):

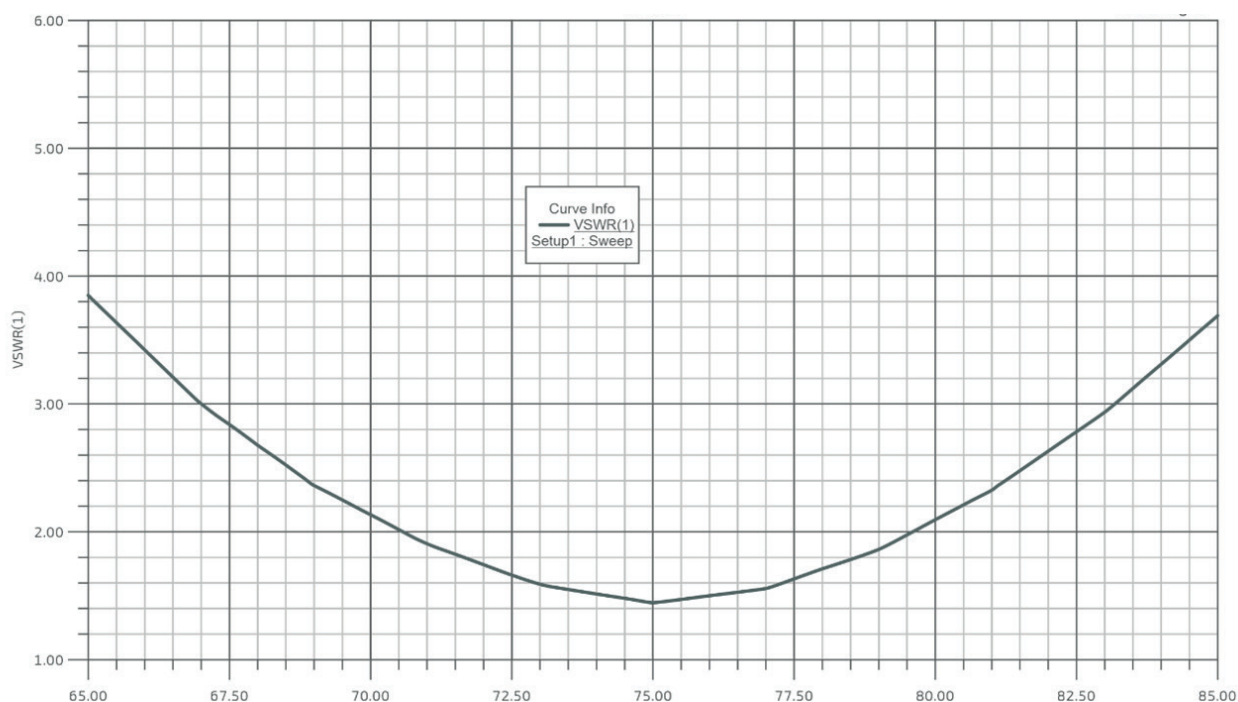


Рис. 12. КСВН на поддиапазоне 70–80 МГц

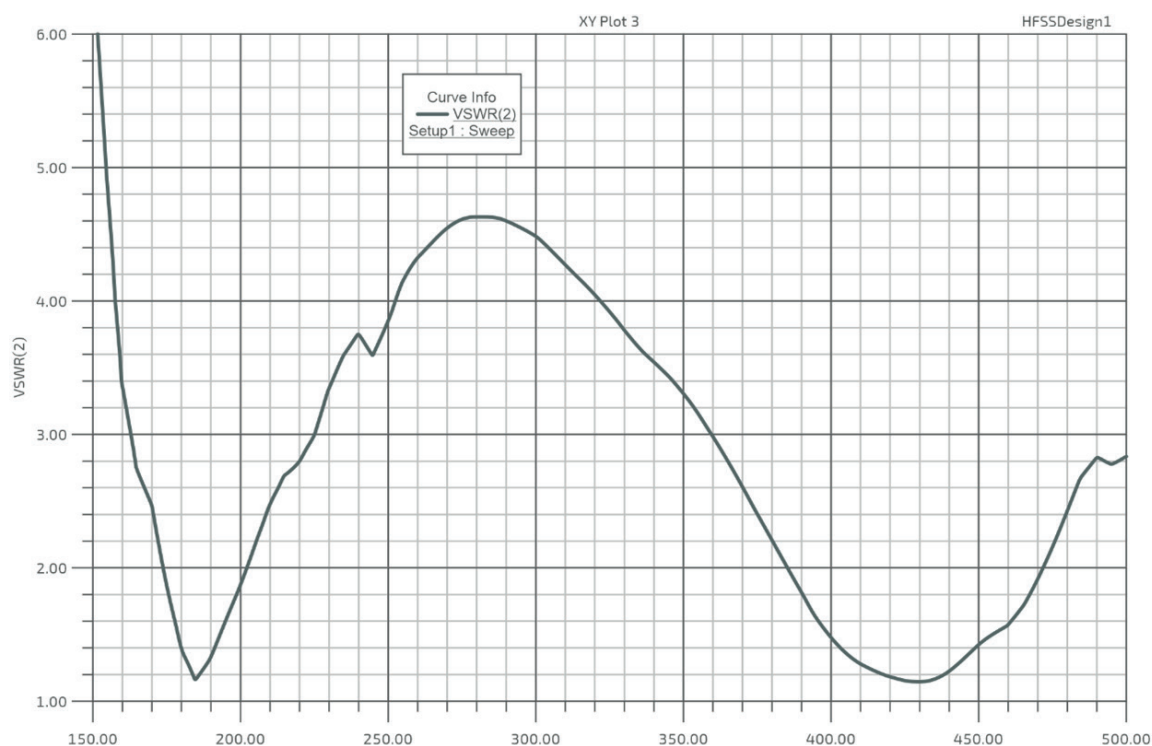


Рис. 13. КСВН на участках 160–180 и 400–490 МГц

Поскольку на участке 70–80 МГц в качестве излучателя применён укороченный несимметричный штырь, можно сделать вывод, что ДН по азимуту в реальных условиях может быть

несколько искажена на поддиапазоне 70–80 МГц. Поэтому, отдельно для данного диапазона ДН по азимуту моделировалась на компьютере, в модели присутствовало условное тело оператора.

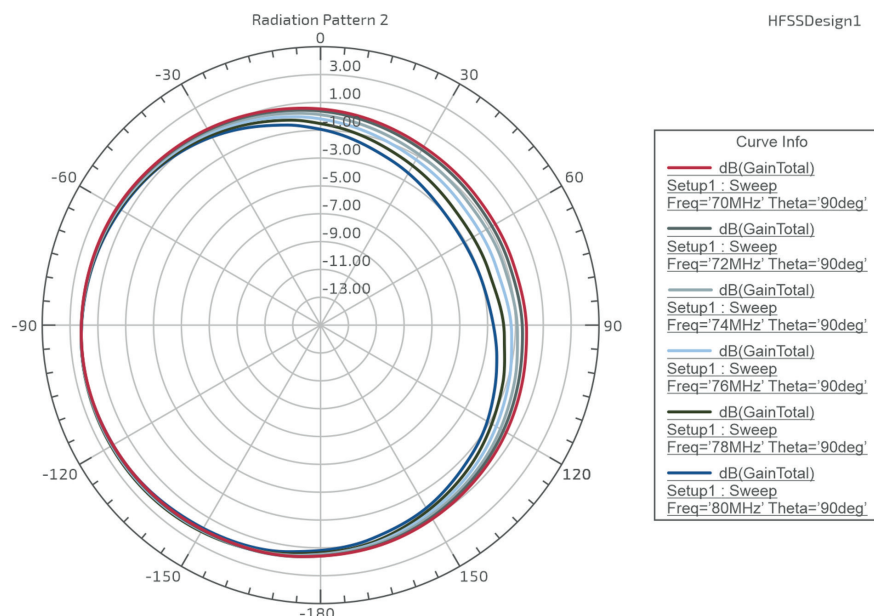


Рис. 14. ДН по азимуту на участке 70–80 МГц, с учётом тела оператора

Для поддиапазонов 160–180 и 400–490 МГц моделировался коэффициент усиления в го-

ризонт (излучатель на этих участках дипольный, и поднят выше головы оператора):

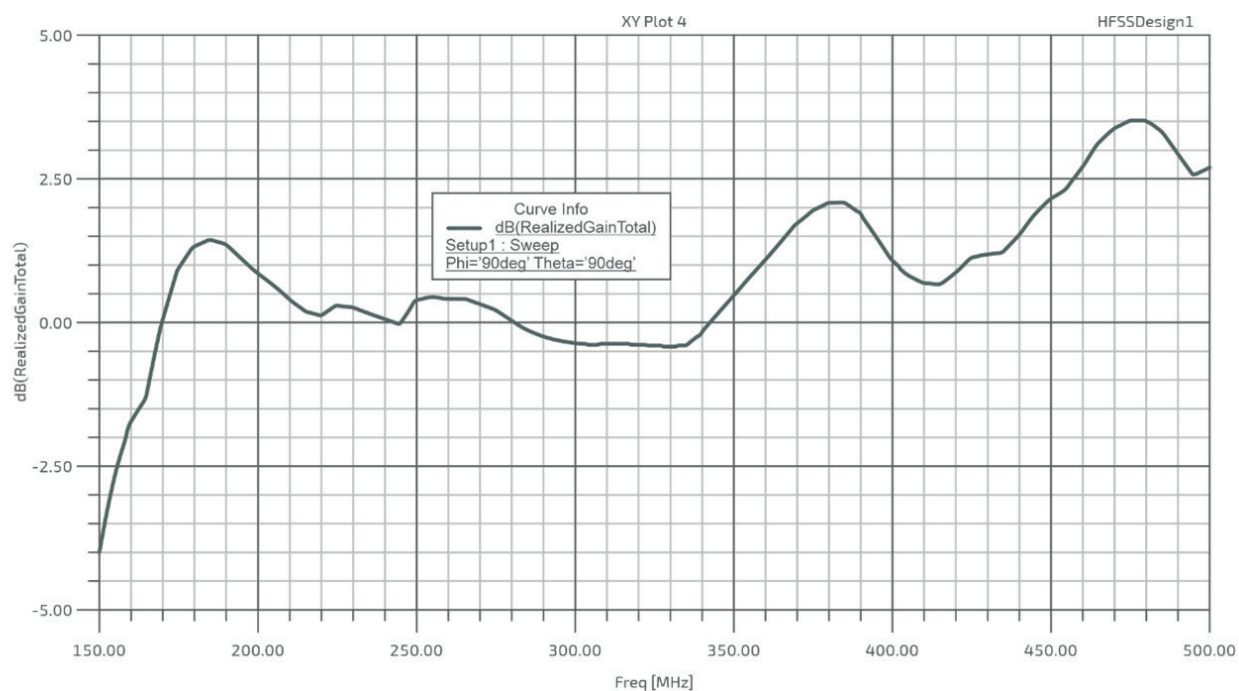


Рис.15. КУ в горизонт на участках 160–180 и 400–490 МГц

Был построен макет антенны для практических измерений. Измеренные графики КСВН следующие (рис. 16, 17). Измеренные значения

достаточно близки к полученным результатам моделирования.

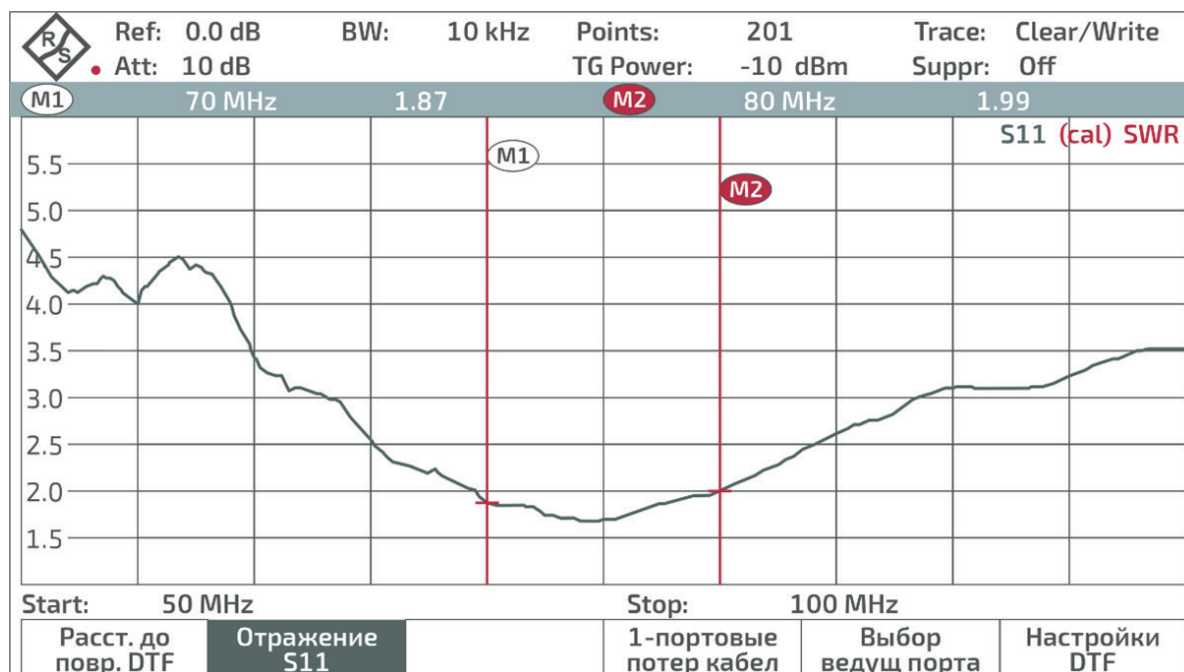


Рис. 16. Измеренный КСВН на участке 70–80 МГц

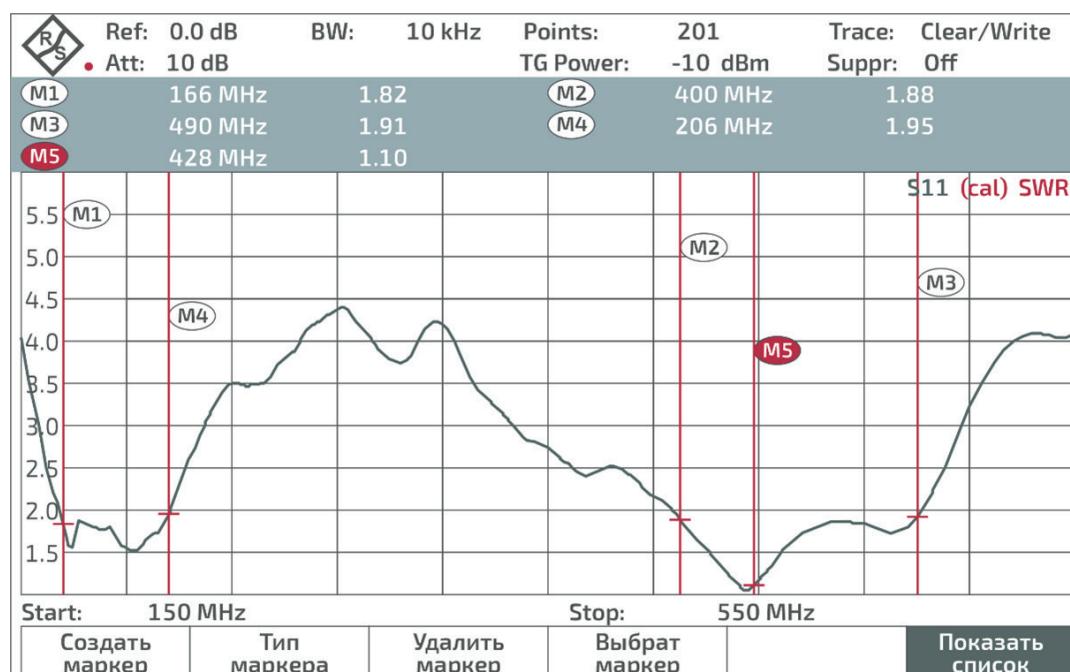


Рис. 17. Измеренный КСВН на участках 160–180 и 400–490 МГц

Проведены измерения КУ в полевых условиях, на макете антенны, установленном на корпусе носимой радиостанции, закреплённом на туловище оператора. Измерения проводи-

лись по 3-м направлениям по азимуту. Результат (рис.18) показал, что такая схема построения антенны вполне перспективна для практического применения.

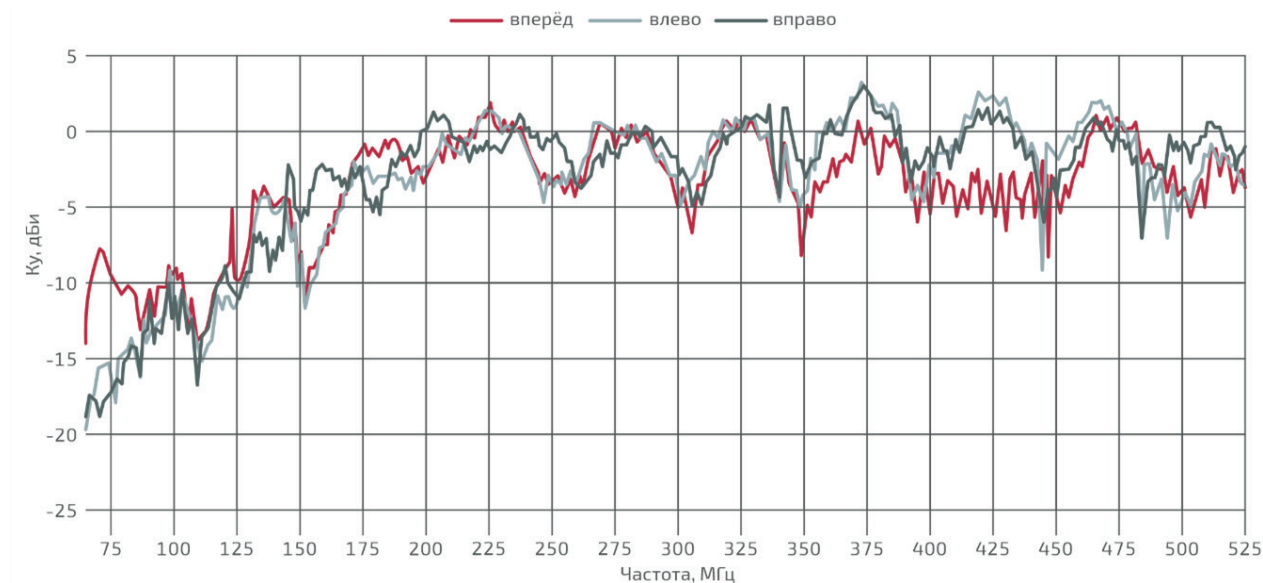


Рис.18. Измеренный КУ макета трёхдиапазонной антенны

Вопрос неравномерности ДН по азимуту при практическом использовании портативных и носимых радиостанций вполне заслуживает отдельной статьи.

Необходимо также учитывать, что на нижнем поддиапазоне использовался укороченный по отношению к четверти длины волны излучатель. С целью уменьшения общей высоты антенны. При построении подобной антенны на более высокочастотные поддиапазоны все излучатели могут быть выполнены полноразмерными.

Выводы

1. Обзорное исследование новинок в ассортименте основных производителей антенн для портативных радиостанций тактического звена показало следующее:

- Частотный диапазон необходимых антенн расширился вплоть до 18 ГГц.
- В стремлении улучшить характеристики своих антенн, зарубежные производители вынужденно ищут компромисс между габаритами, шириной полосы частот, количеством поддиапазонов, коэффициентом усиления в направлении горизонта. Каждая фирма предпочитает выбирать целевым один-два из указанных параметров в конкретной модели. В итоге это приводит к очень большому ассортименту выпускаемых изделий.

2. Анализируя собранную информацию, с учётом опыта собственных наработок, разработчики «НПО АНГСТРЕМ» напротив, стремятся получить как можно больше оптимизированных параметров на каждом спроектированном изделии, при значительно меньшем разнообразии антенн.

Одним из возможных решений видится разработка связанной антенны с тремя поддиапазонами, которые лежат в пределах наиболее востребованных участков МВ и ДМВ диапазонов. Компьютерное моделирование и практические измерения макета выявили перспективность построения трёхдиапазонной антенны путём объединения нескольких антенн с аксиально расположенными излучателями.

3. Для полного перекрытия всех необходимых частотных поддиапазонов необходима дополнительная разработка одной — двух антенн, предназначенных для специальных задач, таких как управление БПЛА и их обнаружение, или работа детекторов облучения сигналом носимой РЛС.

4. Ещё одна насущная потребность — аксессуар для портативных антенн, позволяющие выносить их за пределы укрытий и устанавливать на различные виды опор (мачт), с возможностью формирования направленности по азимуту, когда это необходимо (рефлекторы, директоры и т. п.).

Литература

1. Буянтуев Б. С. Разработка сверхширокополосных антенн для создания сверхскоростных систем беспроводной передачи больших объемов данных для устройств мобильной связи // Молодой ученый. — 2020. — № 36 (326). — С. 1–4.
2. Ташлинцев Д. А., Попов А. А. Сверхширокополосная высокоэффективная спиральная антенна с резонатором // Трибуна учёного. — 09/2022, URL: <https://tribune-scientists.ru/articles/2622> (дата обращения 27.01.2025).

3. Kumar, O. P.; Kumar, P.; Ali, T.; Kumar, P.; Vincent, S. Ultrawideband Antennas: Growth and Evolution. *Micromachines* 2021, 13(1): 60. <https://doi.org/10.3390/mi13010060> Academic Editor: Piotr Kurgan (дата обращения 27.01.2025).
4. Майненгер К. А., Фомченко А. В. Методика аналитического расчета широкополосного согласующего устройства для антенны типа «наклонный луч» // *Техника радиосвязи*. 2024. Выпуск 1 (60). С. 17–28.
5. Уваров А. В. Физические ограничения сверхширокополосных антенн // *Физические основы приборостроения*. 2021. Т. 10. № 2(40). С. 64–73. DOI: 10.25210/jfop-2102-064073.

ULTRA-WIDEBAND ANTENNAS FOR PORTABLE AND MANPACK RADIO STATIONS OF TACTICAL UNITS

Alshenetsky V. A.¹⁵, Kruglov A.S.¹⁶

Keywords: radio communication, frequency range, subrange, wide bandwidth, gain, radiation pattern, single-ended pin, dipole.

Abstract

The purpose of the work is to analyze modern foreign antennas for portable and portable tactical radio stations and to determine ways for the development of domestic analogues with superior characteristics.

Research methods: comparison of antenna parameters according to the data of the main manufacturers available on the market for the armies of NATO countries, as well as computer modeling and practical tests of a prototype of a domestic three-band antenna.

Results of the study: it is shown that a) the range of portable antennas offered by foreign manufacturers has significantly expanded, due to the emergence of new, higher frequency ranges, which is caused by the mass use of electronic warfare and radar, UAVs and portable radars; b) in an effort to improve the characteristics of their antennas, foreign manufacturers are forced to look for a compromise between dimensions, frequency bandwidth, gain in the direction of the horizon, etc. This, as a result, leads to a large assortment of antennas. In order to reduce it, antennas with two or more subbands appear; c) it is noted that the developers of NPO ANGSTREM, on the contrary, strive to obtain as many optimized parameters as possible on each antenna with a much smaller assortment. In particular, the development of combined antennas consisting of separate emitters with separate matching devices, and combined into a single design, with a common power port, which is a new method of reducing the range of antennas, turned out to be a very promising direction.

Practical usefulness lies in the proposed method for creating multi-band antennas of a combined type, tested on a prototype of a three-band antenna.

References

1. Bujantuev B. S. Razrabotka sverhshirokopolosnyh antenn dlja sozdaniya sverhskorostnyh sistem besprovodnoj peredachi bol'shih ob'emov dannyh dlja ustroystv mobil'noj svyazi // *Molodoj uchenyj*. – 2020. – № 36 (326). – С. 1–4.
2. Tashlincev D. A., Popov A. A. Sverhshirokopolosnaja vysokoeffektivnaja spiral'naja antenna s rezonatorom // *Tribuna uchjonogo*. – 09/2022, URL: <https://tribune-scientists.ru/articles/2622> (data obrashheniya 27.01.2025).
3. Kumar, O. P.; Kumar, P.; Ali, T.; Kumar, P.; Vincent, S. Ultrawideband Antennas: Growth and Evolution. *Micromachines* 2021, 13(1): 60. <https://doi.org/10.3390/mi13010060> Academic Editor: Piotr Kurgan (data obrashheniya 27.01.2025).
4. Majnenger K. A., Fomchenko A. V. Metodika analiticheskogo rascheta shirokopolosnogo soglasujushhego ustrojstva dlja anteny tipa «naklonnyj luch» // *Tehnika radiosvyazi*. 2024. Vypusk 1 (60). С. 17–28.
5. Uvarov A. V. Fizicheskie ogranichenija sverhshirokopolosnyh antenn // *Fizicheskie osnovy priborostroeniya*. 2021. Т. 10. № 2(40). С. 64–73. DOI: 10.25210/jfop-2102-064073.



¹⁵ Vladimir A. Alshenetsky, Leading Engineer, JSC «NPO Angstrom», Moscow, Russia, E-mail: alshenetskiy@npo-angstrom.ru

¹⁶ Artem S. Kruglov, Leading Engineer, JSC «NPO Angstrom», Moscow, Russia, E-mail: KruglovAS@npo-angstrom.ru

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ КВ СИСТЕМЫ ВОЕННОЙ РАДИОСВЯЗИ В РЕЖИМЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КВАЗИМЕССЕНДЖЕРА

Шишкин Ю.В.¹

DOI:10.21681/3034-4050-2025-3-22-29

Ключевые слова: глобализированная гиперячейная, или гиперзоновая, система военной радиосвязи (ВРС), радиоретрансляция, квазимессенджер, помехозащищенность, связь последней возможности.

Цель исследования. Разработать предложения по использованию перспективной глобализированной системы военной радиосвязи в режиме квазимессенджера, который в обоснованных случаях может рассматриваться как способ связи последней возможности при наиболее сложной помеховой обстановке.

Метод исследования. Эмпирический анализ, эвристический синтез на основе опыта трассовых испытаний и разработки помехозащищенных модемов для военных КВ радиопередач различного назначения.

Результат. Предложено описание варианта использования перспективной глобализированной системы военной радиосвязи, разрабатываемой в рамках соответствующей ОКР, в режиме квазимессенджера, как способа связи последней возможности при наиболее сложной помеховой обстановке и в обоснованных случаях. Приведены основные особенности реализации такого режима передачи сообщений в данной системе, представляющей собой глобализированную гиперячейную, или гиперзонную, КВ систему радиосвязи, построенную с использованием потоковых радиоканалов повышенной помехозащищенности с адаптивной скоростью передачи. Показана целесообразность целостной передачи коротких сообщений на интервалах ретрансляции, а также обеспечения максимальной осведомленности корреспондирующих пользователей о состоянии прохождения сообщений по системе радиосвязи в целях адекватной реакции на складывающиеся условия. Определена необходимость полностью автоматического режима функционирования СО при доставке сообщений, но при автоматизированном вводе данных с использованием узкоспециализированных абонентских терминалов или радиотерминалов при обращении пользователей к ресурсам системы в крайних и обоснованных случаях как связи последней возможности. Обоснована необходимость в дальнейшей перспективе реализации станций радиодоступа и ретрансляции в полевом варианте исполнения и обеспечения возможности полной автономности их функционирования, а также сохранения основного функционала СО в режиме квазимессенджера и при потере связи этих станций со стационарными радиоцентрами и сетью магистральных адаптивных радиопередач.

Практическая значимость исследования заключается в разработке предложений, вытекающих из особенностей КВ радиоканалов, по построению системы обмена короткими сообщениями между абонентами перспективной автоматизированной сети радиосвязи в режиме квазимессенджера.

Введение

Внедрение предлагаемого режима работы для систем КВ радиосвязи представляется наиболее целесообразным в рамках выполняемой ОКР, имеющей как по замыслу, так по перспективам реализации результатов широкий круг возможных пользователей [1-5].

В рамках данной ОКР разрабатывается перспективная автоматизированная система КВ радиосвязи (для краткости далее будем использовать обозначение СО), в которой стационарные радиоцентры, помимо других функций, при необходимости должны играть роль и удаленных радиоретрансляторов.

В основе предложений лежит предположение, что при осуществлении радиотелекоммуникаций между корреспондентами, которым понадобится данный ресурс (т.е. ресурс СО, обеспечивающий обмен данными по каналам КВ радиосвязи), в подавляющем большинстве случаев будет задействоваться не сетевая структура СО, а исключительно и по возможности максимально автономно только отдельные станции радиодоступа (СРД), входящие организационно (и на данном этапе также, к сожалению, «технически» и территориально) в состав также модернизируемых в рамках указанной ОКР автоматизированных стационарных радиоцентров (АСРЦ), кото-

¹Шишкин Юрий Васильевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник ВАК, старший научный сотрудник ФГБУ «16ЦНИИ» Минобороны России. Московской обл., г. Мытищи Россия. E mail: shkn@bk.ru.

рые в интересах СО должны выполнять функцию центров радиоретрансляции и радиодоступа. Эти СРД образуют совокупность наиболее важных элементов автоматизированной сети радиосвязи (АСРС), как глобализированной гиперячейистой (или гиперзоновой) КВ системы (ГГКВС) радиодоступа и радиоретрансляции, т.е. системы, в которой радиосвязь устанавливается не через ближайшую к инициатору связи СРД, находящуюся в центре своей ячейки (зоны), а через СРД, образующие территориально удаленные от корреспондента ячейки ГГКВС.

В данной «характеристике» ГГКВС (т. е., АСРС, или СО) умышленно даже не упоминаются ресурсы магистральных адаптивных радиолиний (МАРЛ) и сети прямых связей (СПС) стационарных радиочастот. Эти сети, безусловно, являются важными составляющими элементами СО и включают в себя различные подсистемы. При их использовании в благоприятных условиях должна обеспечиваться максимизация возможного радиотрафика в процессе обслуживания абонентов (т.е., корреспондентов, имеющих в пользовании абонентские терминалы данной системы). Однако эти ресурсы не являются строго необходимыми, и, к тому же, в реальных условиях ведения войны могут оказаться наименее живучими элементами.

При этом процесс ведения, например, однократной радиоретрансляции (как наиболее вероятного режима для СО) вообще не потребует обращения (доступа) ни к каким иным элементам и ресурсам системы, кроме как к наилучшей по предоставляемому качеству радиосвязи СРД. Такая СРД должна быть удалена от корреспондентов на расстояние, обеспечивающее преимущественно односкачковое распространение ионосферных радиоволн (порядка 1...3 тыс. км). При этом, появляется возможность использовать наиболее высокие из возможных частот КВ диапазона, на которых уровень помех от радиостанций ближайшей ячейки будет несоизмеримо ниже, чем в низкочастотной части диапазона. Кроме того (и это может стать определяющим достоинством СО в наиболее важных и критических случаях), преднамеренные помехи с дальних расстояний на этих частотах будут также, как и сигнал близкими к однолучевым. А это существенно повышает достижимую степень их подавления с использованием модемных компенсаторов помех, реализованных, например, в модеме типа «Амарант» [5;8].

В перспективе СО должна охватывать своими центрами радиодоступа-ретрансляции (и главной их частью, которая должна иметь возможность функционировать автономно – СРД),

как минимум, всю территорию России и предоставлять при необходимости в особых условиях телекоммуникационные возможности наиболее нуждающимся в этом корреспондентам. Общее количество потенциальных корреспондентов системы должно в перспективе исчисляться многими тысячами. При этом они должны иметь специализированные абонентские терминалы (АТ) для «входа» в СО (напомним, в исключительных и оправданных критичными обстоятельствами случаях).

Цель статьи – создать некоторый исходный комплекс пояснений и аргументов для того, чтобы появилась возможность прийти к какому-либо подобию консенсуса в процессе различных обсуждений и согласований позиций причастных к данной ОКР специалистов, отвечающих «каждый за свой участок работы». Представляется, что для этого целесообразно выработать простую и понятную словесную модель, в виде описания процесса доставки сообщений между корреспондентами, «прописанными» в СО. Кроме того, в этом описании необходимо остановиться и на возможности контролирования («наблюдения») отправителем этапов «прохождения» сообщений вплоть до АТ получателя, путем отображения на дисплее отчетов об отправке и получении квитанций о прохождении сообщениями наиболее важных этапов в СО. Такие возможности позволят отправителю сообщения или ответственному специалисту представить, что происходит при доставке сообщений с учетом особенностей функционирования помехозащищенных КВ радиоканалов с многопараметрической адаптацией, из которых как бы «набирается» радиосвязная составляющая СО, и при необходимости скорректировать свои действия с учетом складывающейся обстановки. Поэтому представляется важным и конструктивным изложить, что получают пользователи в случае удачной реализации ключевых положений замысла данной системы.

Разработка предложений по реализации режима «квазимессенджера» в перспективной глобализированной гиперячейистой КВ системы военной радиосвязи в режиме специализированного квазимессенджера по потоковым радиоканалам с адаптивной скоростью передачи

Начнем с конца, т.е. с того, как можно представить итоговое состояние внедрения СО в практику ВРС. Причем сделаем это путем уточнения названия, которое должно прояснить как функцию, так и ожидаемые характеристики данной системы.

Для достижения состояния некоторой «прозрачности» в понимании того, что должна обе-

спечивать СО с пользовательской точки зрения и вызова конструктивных ассоциаций, попытаемся, привести, по нашему мнению, удачную аналогию. Для этого используем в качестве примера и аналога услугу, ставшую в настоящее время почти для каждого современного человека уже привычной и повседневной, а именно, приложение (программу-клиент), называемое мессенджером, и присвоим «сервису», который должен быть предоставлен «клиентам» СО, следующее «рабочее» наименование:

«специализированный квазимессенджер глобализированной гиперячейкой (гиперзоной) КВ системы военной радиосвязи» (СКМ ГГ-КВС ВРС) или коротко, «КВ-квазимессенджер».

Пользование таким СКМ внешне практически не должно отличаться от того, как почти каждый из нас ежедневно и непринужденно коммуницирует с помощью своих смартфонов с теми, кто нам «нужен», используя, увы, нероссийского происхождения сервисы «WhatsApp», «Viber» и др. Единственным существенным отличием должна быть определенная военная «специализированность» услуг, предоставляемых СО, которая проявляется в порядке доступа к ним. Прежде всего, это относится к жесткой приоритетности в многостанционном доступе, а также учету обоснованности его использования конкретным пользователем, вплоть до ответственности за «превышение степени действительной необходимости» при обращении к данному сервису и последующему «разбору нарушений» и, возможно, учету опыта для совершенствования протоколов связи.

Каждый из корреспондентов, «прописанных» в системе, должен будет иметь особый программно-аппаратно (с пультом ввода данных и монитором) или же только программно (ярлык программы на экране компьютера) реализованный АТ СО. Для подвижных корреспондентов такой терминал в совокупности с задействованными радиосредствами получил название абонентский радиотерминал (АРТ) СО.

При этом, следует, продолжая приведенные аналогии, отказаться от представлений или возможных иллюзий, что имеется возможность или целесообразность автоматического совмещения алгоритмов передачи сообщений по существующим или перспективным каналам сети прямых радиосвязей и по каналам СО. Ведь не приходят же мысли современным пользователям мобильной связью, что, если они будут пытаться передать СМС, короткое речевое сообщение или же сообщение по какому-либо мессенджеру и это окажется невозможным по какой-то причине, то их смартфон автоматически начнет передавать сообщение, используя сразу или по очереди дру-

гие мессенджеры, программы которые установлены на гаджете.

Обращение к возможностям СО (которая в идеале должна функционировать абсолютно автоматически, как интернет, по которому «работают» обычные и привычные мессенджеры) должно быть в высшей степени обоснованным и выражаться в действиях оператора по «ручному», т.е. автоматизированному «подключению» к этой системе путем автоматизированного ввода цифрового документа или набора на клавиатуре сообщения.

Во-первых, это вытекает из ограниченной пропускной способности СО, в особенности в военное время или в угрожаемый период. Эффективная скорость передачи данных будет определяться потенциальными возможностями как топологии СО, так и используемых на маршрутах передачи сообщений отдельных КВ радиоканалов, а главное, трудно предсказуемыми результатами применения противником средств РЭП в попытках преодолеть потенциал контррадиоподавления [6, 7], закладываемый в систему.

Во-вторых, отмеченные требования к действиям потенциальных пользователей должны определяться реалистичным пониманием самого предназначения данной системы как последнего резерва при невозможности обеспечить требуемую телекоммуникацию другими средствами, т.е., выражаясь категорично, как средства связи «последней возможности».

Рассмотрим особенности сетевого (как бы сетевого, поскольку особенности маршрутизации здесь, на наш взгляд, весьма специфичны) протокола помехозащищенной пакетной передачи данных между абонентами автоматизированной сети радиосвязи, которые, как представляется, необходимо учитывать при разработке данного алгоритма функционирования СО:

1. Передача сообщения от АРТ до СРД (а также на любом другом участке радиоретрансляции в цепочке доставки сообщения до адресата) должна происходить в режиме, при котором сообщение с СРД не отправляется далее до тех пор, пока не будет получено полностью, и не будет получено подтверждение от адресанта (инициатора передачи сообщения), что он получил уведомление от СРД о завершении приема сообщения в целом (т.е. до тех пор, пока не будет получена квитанция о том, что источник сообщения «знает», что сообщение доставлено до СРД). При отсутствии такой квитанции СРД должна периодически предпринимать попытки довести до АРТ квитанцию о приеме и дожидаться ответной квитанции. Такой алгоритм выхода на магистральные ресурсы СО целесообразен для того, что-

бы исключить непродуктивную загрузку такого важного и драгоценного резервного ресурса, как обходные КВ маршруты, если на этапе доступа к СРД у адресанта, например, появляется возможность воспользоваться своим основным ресурсом – прямой радиосвязью с нужным абонентом. В случае, когда необходимость использования обходного пути передачи сообщения по СО отпадает (прямая связь оказывается восстановленной или поступает команда отмены отправки сообщения от органов управления), АРТ должен в приоритетном порядке прекратить попытку передачи сообщения в сторону выбранной оптимальной по качеству радиодоступа СРД, а также послать команду, отменяющую дальнейшую ретрансляцию сообщения от данной СРД в сторону адресата. По существу, обращение к СО для использования обходного способа передачи сообщения должно расцениваться как чрезвычайное происшествие и обстоятельства этого события должны всегда анализироваться с целью адаптивной оптимизации работы СО (как с использованием автоматических алгоритмов, так и путем внесения изменений в параметры системы на основе опыта эксплуатации) со строгим учетом приоритетности сообщений, которые могут оказаться в состоянии «обработки» этой системой.

Однако в силу важности передаваемых по радио сообщений полученное СРД сообщение при этом, тем не менее, через определенное время (это время уточняется по результатам моделирования и практики эксплуатации системы) должно быть отправлено для ретрансляции по сети (или наиболее простым по структуре путем – путем удаленной радиоретрансляции) в сторону адресата даже если подтверждение от АРТ не получено. При этом не прекращая попыток добиться квитирования состояния осведомленности АРТ о состоявшемся удачном контакте АРТ с СРД, которое бы означало «разрешение» на дальнейшее продвижение сообщения по цепочке ретрансляции, или в альтернативном варианте дожидаться от АРТ команды об отмене дальнейшей ретрансляции. Таким образом, представляется нецелесообразным загружать «обрывками» (удачно переданными пакетами, на которые может разбиваться сообщение по протоколу третьего, сетевого, уровня ЭМВОС) дальнейший путь прохождения сообщения. Такой подход связан с тем, что КВ радиовставкам по пути доведения сообщения до адресата свойственны низкая надежность и непредсказуемая пропускная способность (в частности, при использовании модема «Амарант» эффективная скорость передачи данных может меняться в зависимости от помеховых условий от 15 до 9600 бит/с), в особенности в ус-

ловиях применения противником средств РЭП и/или огневого воздействия на элементы СО. Кроме того, из-за этих особенностей радиовставок оказывается неустойчивой конфигурация возможного пути доставки сообщения (маршрута) при многосвязности СРД с другими СРД и радиоцентрами, связанными между собой по магистральным адаптивным радиолиниям СО.

Следует учитывать, что режим прерывания пользования СО со стороны АРТ может инициироваться только за счет анализа условий радиосвязи по прямому каналу радиосвязи, что предполагает реализацию особого, инновационного, режима аппаратуры управления ведением радиосвязью (УВС), работающей по алгоритму частотно-трассовой адаптации (ЧТА), для осуществления принципа «приоритетности выбора и восстановления радиосвязи по прямому каналу радиосвязи по отношению к использованию радиодоступа к магистральным ресурсам СО.

2. Представляется, что в отсутствие прямой радиосвязи (с учетом нюансов процедуры радиодоступа, изложенного в п. 1.), а также при неприемлемом качестве или недостаточной пропускной способности канала прямой радиосвязи для конкретного вида сообщения, алгоритм доступа к СО по принципу "выстрелил и успокоился" (до получения квитанции о доставке сообщения до конечного адресата) является наиболее адекватным. При этом надо понимать, что других возможностей передать сообщение просто нет, и поэтому было бы недопустимой ошибкой незамедлительно, при наличии полномочий в соответствии с приоритетностью сообщения и с учетом его объема, не воспользоваться доступом к транспортным ресурсам радиоучастков СО и в дальнейшем, при их доступности "ad-hoc" (т.е. при соответствующих благоприятных обстоятельствах) к транспортным ресурсам системы связи ВС РФ (СС ВС РФ), не производя предварительного "пингования" пакетной сети и выбора оптимального пути доставки данного сообщения. В качестве известной и понятной любому минимально образованному человеку аналогии можно привести алгоритм действий людей, терпящих бедствие, и при первой возможности начинающих передавать сигнал "SOS", так сказать, "в пустоту", явно не рассчитывая и не ожидая, что их передатчику известен или соответственно когда-то станет известен маршрут доведения этого сообщения до получателя.

3. При доставке сообщения на СРД, переданного с АРТ, производится инициация процедуры передачи этого сообщения адресату. Если отсутствует канал связи с адресатом по каналам СС ВС РФ (без использования КВ «радиовста-

вок»), через стационарный радицентр, к которому «привязана» данная СРД, осуществляется вызов АРТ адресанта с целью осуществления попытки организовать режим удаленной радиоретрансляции кратчайшим путем. При неудачном исходе такой попытки запрос на установление радиосвязи с адресатом должен передаваться по СС ВС РФ другим стационарным радицентрам, к которым «прикреплены» СРД, причем первоочередно к той СРД, на которой имеются наиболее недавние сведения о факте состоявшейся радиосвязи с АРТ адресата или при отсутствии такого факта – наиболее недавние данные о «прописке» АРТ этого адресата (т.е. фиксации факта приема тестового сигнала «проверки возможности радиосвязи»), а в случае объявления запрета на выход в эфир всем или данному АРТ для такой «прописки», то к той СРД, на которой позывные данного АРТ находятся в списке приоритетов на более высоком «уровне предпочтения» для установления радиосвязи «по запросу», чем с других СРД, до которых дойдет запрос на установление радиосвязи по СС ВС РФ. Если попытка связи со второй СРД окажется неудачной, то такая попытка должна осуществляться со следующей СРД, выбираемой по указанному признаку «списковой предпочтительности» в отношении «искомого» АРТ.

Передача сообщения с первой СРД (на которой осуществляется временное хранение этого сообщения, полученного на этапе радиодоступа к СО» от АРТ-инициатора, или АРТ-адресанта, т.е. хранение до получения квитанции о доставке сообщения конечному адресату) на найденную таким методом СРД, с которой удалось установить связь с искомым АРТ-адресатом, осуществляется только после подтверждения факта перевода в режим радиосвязи на рабочих частотах адаптивной радиолинии между найденной СРД и АРТ-адресатом. Это связано с тем, что, во-первых, априорно предполагается, что скорость передачи по другим каналам СС ВС РФ всегда будет превышать скорость работы по радиоканалу, и, во-вторых, обмен кодограммами установления радиосвязи по сети радиодоступа на конечном участке доставки сообщения от последней СРД до АРТ-адресата, еще не означает, что произойдет установление радиосвязи на рабочих частотах и что не потребуются использовать частотную адаптацию, а также адаптацию по пропускной способности для поиска приемлемой для радиосвязи частоты (или пары частот приема-передачи) на этой радиолинии. Кроме того, возможно, что попытка обеспечить радиосвязь на рабочих частотах окажется неудачной и потребуются перейти к поиску такой возможности с другой СРД СО.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что в процессе создания СО должны быть разработаны и отлажены алгоритмы доставки сообщения, учитывающие особенности установления радиосвязи на различных участках радиоретрансляции с использованием как алгоритмов ЧТА (на этапе радиодоступа), так и традиционные алгоритмы частотной адаптации, а также алгоритмы служебного сетевого обмена для осуществления оптимальной маршрутизации.

Кроме того, представляется необходимым предусмотреть реализацию алгоритма маршрутизации «последней возможности», обеспечивающего возможность использования (при многоскачковой, «многопролётной», КВ радиоретрансляции) прямых каналов КВ радиосвязи непосредственно между «соседними» СРД (в зоне потенциальной возможности установления связи между ними), минуя пути доступа к стационарным радицентрам и МАРЛ.

4. Следует заметить, что для режима однократной радиоретрансляции для повышения скорости доставки сообщений при определенных (благоприятных) условиях может оказаться целесообразным отказаться от принципа получения сообщения в целом перед тем, как передавать составляющие его пакеты далее по сети (целесообразность такого режима на практике или же условия перехода в такой режим должны быть установлены путем тщательного моделирования множества возможных ситуаций в КВ радиоканалах на участках ретрансляции).

5. На экране монитора АТ у оператора (и, возможно, мониторах других ответственных лиц), имеющего возможность выхода в СО, должен отображаться справочный материал (с возможностью углубленного раскрытия «состояния выполнения заказа»), не влияющий на автоматический процесс выбора СРД, в частности, иллюстрирующий в реальном времени наиболее подходящую СРД для доступа к магистральным ресурсам СО. Т.е. позволяющий оператору контролировать с какой из СРД произошла или происходит коммуникация АРТ, а также после установления радиосвязи с выбранной СРД, продолжать при необходимости наблюдение за «ситуацией в эфире» по результатам автоматического анализа СКМС, излучаемых из районов расположения СРД. По аналогии с «отсветкой» на экране смартфонов специальных значков (например, «галочек» с двумя градациями окраски в мессенджере WhatsApp), на экране монитора должны высвечиваться определенные условные изображения, позволяющие оператору при необходимости достаточно детально представить всю ситуацию с прохождением по различным наиболее важным

элементам СО передаваемого сообщения, а также количественные оценки текущей пропускной способности задействованных КВ радиоканалов и «история» изменения этих характеристик.

Отсюда следует, что внешне, для оператора АТ или АРТ при укрупненном слежении за доставкой сообщений, контроль за их передачей по СО весьма сходен тому, который может осуществлять клиент при использовании мессенджеров интернета.

Однако протокол передачи сообщений в СО никакого отношения к интернет-мессенджерам не имеет. СО – это специально построенная система со своим протоколом обмена сообщениями (и обменом служебными командами и кодограммами). В СО реализуются специфические процедуры установления и ведения связи на каждом этапе ретрансляции по отдельным КВ радиоканалам. Кроме того, выполняется последовательный анализ и выбор из возможных и потенциально успешных путей дальнейшей ретрансляции в поисках необходимого адресата. Поэтому СО не является сетью наподобие интернета с огромными возможностями путей доставки сообщений и разбиений их на пакеты, оптимизированные для конкретных подсистем.

Выводы

Таким образом, основные характеристики протокола передачи сообщений в СО, который позволил бы обеспечить реализацию услуги КВ квазимессенджера, можно определить следующими положениями:

1. Ключевая особенность СО состоит в том, что функционально полноценная работоспособность (с возможным понижением времени доставки сообщений и общего объема трафика) всей радиосвязной составляющей этой системы должна быть обеспечена (в предположении, что предварительно всем АТ, АРТ и СРД были доведены все необходимые для автономного функционирования радиоданные и системные сведения) при полной «потере управления» со стороны центра управления системой и, более того, при потере связности магистральной сети радиосвязи и даже при полной потере всякой возможности использования магистральных линий радиосвязи СО. При этом естественно ожидать снижение показателей пропускной способности и своевременности при доставке сообщений за счет необходимости использования части средств СРД для обеспечения возможной радиосвязи между СРД взамен штатных по структуре магистральных радиолиний между этими СРД, расположенными на стационарных радиоцентрах (или вблизи них), имеющих магистральные приемно-передающие средства СО.

2. Все центры радиодоступа и ретрансляции СО должны обладать памятью ранее состоявшихся коммуникаций и условий их осуществления, т.е. частоты радиосвязи, время суток и года, какие были использованы радиосредства, в каких направлениях и др. (включая все независимо функционирующие в этом отношении СРД).

3. Обращение к АТ или АРТ СО пользователя каналами ВРС должно происходить в автоматизированном режиме, при участии человека; в ряде случаев для действий в особых условиях и для наиболее важных систем передачи данных, имеющих высшие приоритеты для обороны страны, в перспективе должны быть предусмотрены алгоритмы автоматического ввода сообщений в СО.

4. Сообщения от АТ или АРТ до станции радиодоступа, выбранной системой ЧТА радиолинии доступа к магистральным ресурсам СО, должны передаваться целиком с получением подтверждения доставки до СРД и обязательной передачи квитанции на СРД для завершения цикла радиодоступа; в процессе такой передачи остальные ресурсы СО не должны быть задействованы, чтобы не перегружать магистральные радиотракты отдельными субпакетами сообщений до появления полной определенности в необходимости использования этих ресурсов.

5. На мониторах АТ и АРТ должны отображаться, прежде всего, сведения о доставке сообщения (как о процессе так и о результате) до одной из СРД СО (это необходимо, чтобы засвидетельствовать тот факт, что сообщение «дошло до магистральных ресурсов СО и система находится в состоянии определения дальнейшего пути доставки»), о доставке сообщения до АТ или АРТ адресатов, а также о том, что это сообщение «прочитано» человеком на стороне адресата или использовано установленным порядком в системе управления; кроме того, оператор адресанта должен иметь возможность более детально уточнить при необходимости временные характеристики «прохождения» сообщения по всем СРД и центрам коммутации сообщений (по крайней мере, принадлежащим радиосвязной составляющей СО) для общей оценки обстановки по возможностям радиосвязи с использованием ресурсов СО.

В заключение необходимо отметить, что с учетом рассмотренных особенностей функционирования перспективной глобализированной гиперэластичной (гиперэластичной) КВ системы ВРС в «широкой перспективе» для достижения сопоставимости по живучести радиоретрансляционной части СО и обслуживаемых этой системой под-

вижных корреспондентов, а также пользователей, «привязанных» к полевым радиостанциям, СРД должны быть модернизированы с целью реализации их в мобильном исполнении с радиопривязкой

(с помощью УКВ радио или радиорелейных каналов связи, а также при необходимости и высокоскоростных КВ радиоканалов) к ближайшим стационарным радиостанциям, входящим в состав СО.

Литература

1. Костарев, С.В. Развитие сетей связи МО РФ в XXI веке / С.В. Костарев // Связь в Вооруженных силах РФ. – 2022.
2. Логин, Э.В. Дискретно-событийная модель функционирования пакетной радиосети КВ-диапазона общего пользования / Присяжнюк С.П., Присяжнюк А.С., Сахарова М.А., Логин Э.В. // Информация и Космос. – 2019. – №2(9). – С. 41–48.
3. Присяжнюк, А.С., Модель управления когнитивной декаметровый радиосетью / Присяжнюк А. С., Присяжнюк С.П. // Информация и Космос. – 2018. – №4(8). – С. 44–48.
4. Зачатейский Д.Е. Метод повышения помехоустойчивости передачи данных в расширенной ведомственной системе связи коротковолнового диапазона при работе по ассиметричным радионаправлениям / Шадрин Б.Г., Дворянчиков В.А., Зачатейский Д.Е. // Техника радиосвязи. – 2022. – Вып. 2 (53). – С. 7–17.
5. Боганков, Б.С. Метод повышения скорости передачи данных в системах КВ-радиосвязи и его реализация (часть 2) // Шадрин Б.Г., Дворянчиков В.А., Боганков Б.С., Зачатейский Д.Е. // Техника радиосвязи. – 2023. – Вып. 3 (58). – С. 21–35.
6. Патент РФ на полезную модель RU №172898 U1, МПК H04J 1/20. Параллельный радиомодем / А.И. Андреев, Ю.В. Шишкин, Ю.В. Ясырев; заявитель и патентообладатель. АО «Концерн «Созвездие». – № 2017106388; заявл. 27.02.2017; опубл. 31.07.2017, Бюлл. 22.
7. Шишкин Ю.В. Особенности применения приемных адаптивных антенных решёток в системах подвижной радиосвязи / Ю.В. Шишкин, Ю.В. Ясырев // Антенны. 2019. №8 (262). С. 20–26.
8. Иванов М.С. Метод повышения скорости обмена данными в сети воздушной радиосвязи управления авиацией, реализующий динамическое межуровневое взаимодействие модели // Вестник Воронежского института МВД России, 2024. №2. С. 98–109.

FEATURES OF THE OPERATION OF A PROMISING HF MILITARY RADIO COMMUNICATION SYSTEM IN THE MODE OF A SPECIALIZED QUASI-MESSENGER

Shishkin Yu.V.¹

Keywords: globalized hypercellular, or hyperzone, military radio communication system (VRS), radio relay, quasi-messenger, noise immunity, communication of last resort.

Objective. To develop proposals for the use of a promising globalized military radio communication system in the quasi-messenger mode, which, in justified cases, can be considered as a method of communication of last resort in the most difficult jamming environment.

Research method. Empirical analysis, heuristic synthesis based on the experience of route tests and the development of noise-proof modems for military HF radio links for various purposes.

Result. A description of the option of using a promising globalized military radio communication system, developed within the framework of the relevant R&D, in the quasi-messenger mode, as a method of communication of last resort in the most complex jamming situation and in justified cases is proposed. The main features of the implementation of such a mode of message transmission in this system, which is a globalized hypermesh, or hyperzone, HF radio communication system built using streaming radio channels of increased noise immunity with adaptive transmission rate, are presented. The expediency of integral transmission of short messages at retransmission intervals, as well as ensuring maximum awareness of the corresponding users about the state of the the passage of messages through the radio communication system in order to adequately respond to the prevailing conditions. The need for a fully automatic mode of operation

¹Yuri V. Shishkin, Ph.D., Senior Researcher of the Higher Attestation Commission, Senior Researcher of the Federal State Budgetary Institution "16Central Research Institute of the Ministry of Defense of Russia". Moscow Region, Mytishchi, Russia. E mail: shkn@bk.ru.

of the system during the delivery of messages is determined, but with automated data entry using highly specialized subscriber terminals or radio terminals when users access the resources of the system in extreme and justified cases as a communication of last resort. The need in the future to implement radio access and retransmission stations in the field version and to ensure the possibility of complete autonomy of their operation, as well as to preserve the main functionality of the CO in the quasi-messenger mode and in case of loss of communication of these stations with stationary radio centers and a network of backbone adaptive radio links is substantiated.

The practical significance of the study lies in the development of proposals arising from the features of HF radio channels for the construction of a system for the exchange of short messages between subscribers of a promising automated radio communication network in the quasi-messenger mode.

References

1. Kostarev, S.V. Razvitie setej svjazi MO RF v HHI veke / S.V. Kostarev // Svjaz' v Vooruzhennyh silah RF. – 2022.
2. Login, Je.V. Diskretno-sobytnijaja model' funkcionirovanija paketnoj radioseti KV-diapazona obshhego pol'zovanija / Prisjazhnjuk S.P., Prisjazhnjuk A.S., Saharova M.A., Login Je.V. // Informacija i Kosmos. – 2019. – №2(9). – S. 41–48.
3. Prisjazhnjuk, A.S., Model' upravljenja kognitivnoj dekametrovoj radioset'ju / Prisjazhnjuk A. S., Prisjazhnjuk S.P. // Informacija i Kosmos. – 2018. – №4(8). –S. 44–48.
4. Zachatejskij D.E. Metod povyshenija pomehoustojchivosti peredachi dannyh v rasshirennoj vedomstvennoj sisteme svjazi korotkovolnovogo diapazona pri rabote po assimetrichnym radionapravlenijam / Shadrin B.G., Dvorjanchikov V.A., Zachatejskij D.E. // Tehnika radiosvjazi. – 2022. – Vyp. 2 (53). – S. 7–17.
5. Bogankov, B.S. Metod povyshenija skorosti peredachi dannyh v sistemah KV-radiosvjazi i ego realizacija (chast' 2) // Shadrin B.G., Dvorjanchikov V.A., Bogankov B.S., Zachatejskij D.E. // Tehnika radiosvjazi. – 2023. – Vyp. 3 (58). – S. 21–35.
6. Patent RF na poleznuju model' RU №172898 U1, MPK N04J 1/20. Parallel'nyj radiomodem / A.I. Andreev, Ju.V. Shishkin, Ju.V. Jasyrev; zajavitel' i patentoobladatel'. AO «Koncern «Sozvezdie». – № 2017106388; zajavl. 27.02.2017; opubl. 31.07.2017, Bjull. 22.
7. Shishkin Ju.V. Osobennosti primenenija priemnyh adaptivnyh antennyh reshjotok v sistemah podvizhnoj radiosvjazi / Ju.V. Shishkin, Ju.V. Jasyrev // Antenny. 2019. №8 (262). S. 20–26.
8. Ivanov M.S. Metod povyshenija skorosti obmena dannymi v seti vozdušnoj radiosvjazi upravljenja aviaciej, realizujushhij dinamicheskoe mezhurovnevoe vzaimodejstvie modeli // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii, 2024. №2. S. 98–109.



МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ЛИНИЙ ДЕКАМЕТРОВОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ МНОГОКРАТНОГО ПРИЕМА СИГНАЛОВ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Сметанин С. С.¹

DOI:10.21681/3034-4050-2025-3-30-34

Ключевые слова: спектральная плотность мощности, корреляционный интеграл, вероятности битовой ошибки.

Аннотация

Цель работы: состоит в повышении помехозащищенности за счет многократного приема ЛЧМ сигнала путем сравнения спектральной плотности мощности сигнала (сравнение площадей) с помощью изменения (уменьшения) скорости передачи информации.

Результаты исследования: разработана методика повышения помехозащищенности линий декаметровой связи на основе многократного приема сигналов линейной частотной модуляции. Методика реализована за счет многократного приема ЛЧМ сигнала путем сравнения спектральной плотности мощности сигнала (сравнение площадей) с помощью изменения (уменьшения) скорости передачи информации. Проведен анализ сигналов ЛЧМ и их сравнение с другими видами сигналов, определены их преимущества. Представлен ЛЧМ сигнал при изменении (уменьшении) скорости передачи информации при воздействии заградительной помехи противника путем сравнения спектральной плотности мощности сигнала (сравнение площадей). Представлены бинарные структуры ЛЧМ сигнала при изменении (уменьшении) скорости передачи. Осуществлен расчет в MathCad требуемой вероятности ошибки (10⁻³) при изменении (уменьшении) скорости передачи сообщения ЛЧМ сигнала.

Научная новизна: впервые разработана методика повышения помехозащищенности линий декаметровой связи на основе многократного приема сигналов линейной частотной модуляции путем сравнения спектральной плотности мощности сигнала (сравнение площадей) с помощью изменения (уменьшения) скорости передачи информации.

Сигналы линейно-частотной модуляции (далее по тексту — ЛЧМ сигналы) относятся к классу широкобазисных сигналов, у которых величина базы существенно больше единицы.

В рамках настоящей статьи сформулируем задачу исследования следующим образом: на основе анализа характера изменения параметров, определяющих возможность синтеза бинарных структур ЛЧМ сигналов, разработать методику, позволяющую повысить помехозащищенность за счет многократного приема широкополосных сигналов. Помехозащищенность приема ЛЧМ импульсов определяется структурными различиями между сигнальными конструкциями, используемыми для передачи различных битов информационных сообщений.

Для многоуровневых и информационных систем указанные различия будут определяться минимальным евклидовым расстоянием между двумя любыми многоуровневыми модулированными ЛЧМ сигналами. Для бинарных систем евклидово расстояние будет единственным и величину квадрата его значения между сигналами $s_1(t)$

и $s_0(t)$ можно записать следующим выражением:

$$D^2(s_1, s_0) = \int_0^T [s_1(t) - s_0(t)]^2 dt$$

которое можно преобразовать к виду:

$$D^2(s_1, s_0) = 2E_s (1 - K(s_1, s_0))$$

В выражении (2) $K(*)$ — результат корреляции между ЛЧМ-конструкциями $s_1(t)$ и $s_0(t)$, который может быть рассчитан согласно формуле:

$$K(s_1, s_0) = \frac{1}{E_s} \int_0^T s_1(t) s_0(t) dt$$

Выражение (3) представляет собой нормированный корреляционный интеграл (результат корреляции) между сигнальными конструкциями $s_1(t)$ и $s_0(t)$. Поскольку производительность оптимального приемника, принимающего решение при демодуляции по критерию максимального правдоподобия, определяется только евклидовым расстоянием между сигнальными конструкциями, то помехоустойчивость оптимального приема, характеризующаяся вероятностью сим-

¹Сметанин Сергей Сергеевич, адъюнкт кафедры радиосвязи Военной академии связи им. С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: smit130189@mail.ru

вольной ошибки, вычисляется согласно выражению:

$$p_e \approx Q \left[\sqrt{\frac{D^2}{2N_0}} \right]$$

где N_0 — спектральная плотность мощности шума; Q — интеграл ошибок, определяемый как:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$$

Нормализация вида d^2 открывает возможность сравнивать между собой различные бинарные сигнальные конструкции, в том числе и с ЛЧМ:

$$d^2 = \frac{D^2}{2E_b}$$

где E_b — энергия, приходящаяся на бит.

На рис.1 представлены результаты зависимости вероятности битовой ошибки (для бинарных сигналов она совпадает с символьной ошибкой) P_c от h^2 , для следующих сигнальных конструкций: BPSK, FSK и ЛЧМ [1,2].

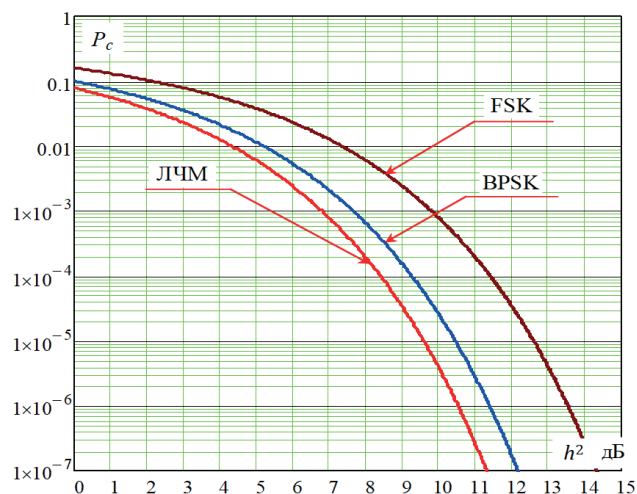


Рис. 1. Вероятность битовой ошибки для бинарных сигналов

Результаты оценки вероятности битовой ошибки бинарных сигнальных конструкций ЛЧМ позволяют заключить, что они выигрывают у сигналов BPSK

в помехоустойчивости порядка 1 дБ, при прочих равных условиях. При этом следует понимать, что поскольку ЛЧМ конструкции относятся к классу широкополосных шумоподобных сигналов, база которых может быть существенно больше единицы, то для них открывается возможность использования, так называемого эффекта

усиления за счет обработки [2,3]. Данный эффект основан на повышении помехозащищенности за счет многократного приема широкополосных сигналов. А желаемый результат обеспечивается по результатам корреляционной обработки на приеме [3,4].

Предположим, что противник использует заградительную помеху, так как, данная помеха является наиболее оптимальной для противника, который не знает измененную структуру нашего ЛЧМ сигнала. Разработаем методику повышения помехозащищенности за счет многократного приема ЛЧМ сигнала путем сравнения спектральной плотности мощности сигнала (сравнение площадей) с помощью изменения (уменьшения) скорости передачи информации. Спектральная плотность мощности (энергетический спектр) — это функция, описывающая распределение мощности сигнала по частотам, а именно мощность, приходящуюся на единичный интервал частоты.

На рис. 2 представлен наш ЛЧМ сигнал мощностью 1 кВт, который занимает площадь cd , соответственно спектральная плотность мощности сигнала равна:

$$\sigma_c = \frac{P_c}{S_{cd}}$$

Заградительная помеха противника тоже мощностью 1 кВт занимает площадь av , соответственно спектральная плотность мощности помехи равна:

$$\sigma_{\Pi} = \frac{P_{\Pi}}{S_{av}}$$

Абсолютно очевидно, что у нас спектральная плотность мощности будет гораздо больше, чем у заградительной помехи противника, т.к. мы 1 кВт излучаем на гораздо меньшей площади (cd), чем производит подавление заградительная помеха (av).

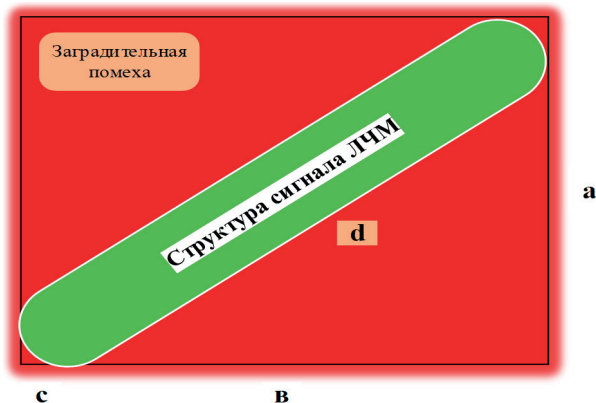


Рис. 2. Структура сигнала ЛЧМ на фоне заградительной помехи (при сравнении площадей)

На рис. 3 представлен ЛЧМ сигнал при изменении (уменьшении) скорости передачи информации при воздействии заградительной помехи.

Сущность методики состоит в том, что изначально выбирается максимально возможная

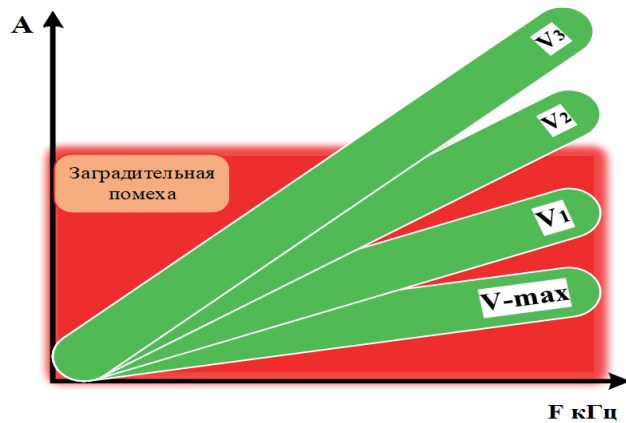


Рис. 3. Сигнал ЛЧМ при изменении скорости передачи на фоне заградительной помехи

скорость передачи — $V_{\max}$ и после этого производится ее уменьшение до необходимых значений.

На рис. 3 видно, что при максимальной скорости, противник нас с легкостью подавляет наш сигнал. Следовательно, уменьшаем скорость передачи до значений, при которых, наш сигнал будет вышезаградительной помехи противника. При максимальном значении скорости передачи спектральная плотность мощности будет больше, чем у помехи всего в 2 раза, т. е. соотношение 2:1, это соответствует $P_{\text{ош}} = 10^{-1}$, а требуемая вероятность ошибки $P_{\text{ош}} = 10^{-3}$ (показатель помехозащищенности — вероятность битовой ошибки в соответствии с оперативно-техническими требованиями равен 10^{-3}), соответственно требование по помехозащищенности не выполняется. При значении скорости передачи V_1 спектральная плотность мощности будет больше, чем у помехи в 3 раза, т. е. соотношение 3:1, это соответствует $P_{\text{ош}} = 10^{-2}$. При значении скорости передачи V_2 и V_3 спектральная плотность мощности будет больше, чем у помехи в 4 раза, т. е. соотношение 4:1, это соответствует $P_{\text{ош}} = 10^{-3}$ — получили требуемую вероятность ошибки — 100% выполняется требование по помехозащищенности [5].

Для наглядности на рис. 4 представлены бинарные структуры ЛЧМ сигнала при изменении (уменьшении) скорости передачи.

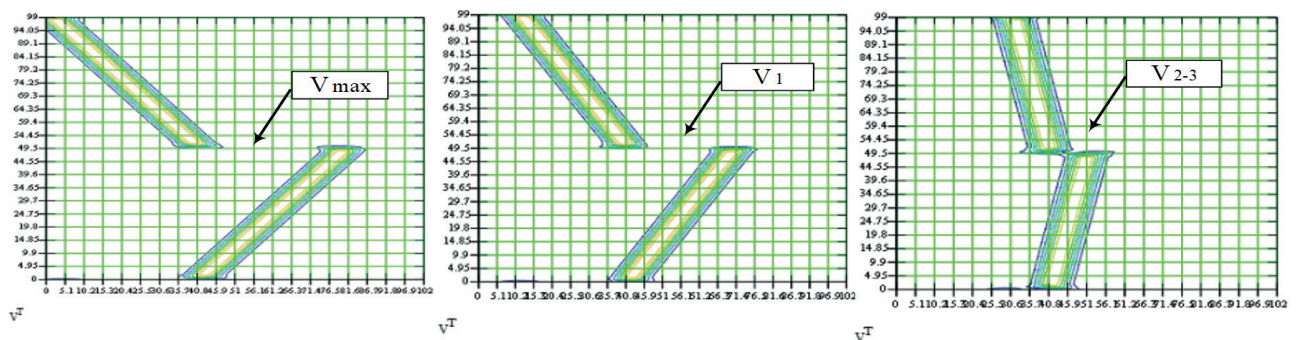


Рис. 4. Бинарное представление структуры ЛЧМ сигнала при изменении скорости передачи

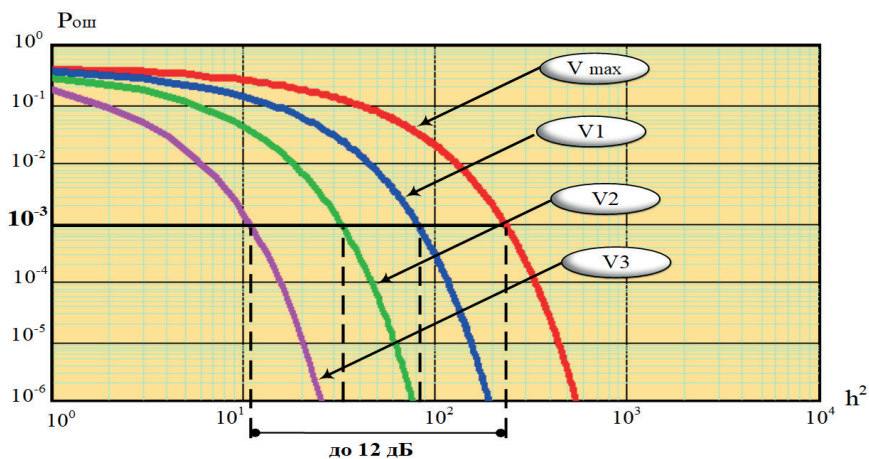


Рис. 5. Графики расчета вероятности ошибки при изменении скорости передачи

На рис. 5 представлен расчет в MathCad-требуемой вероятности ошибки (10-3)

при изменении (уменьшении) скорости передачи сообщения ЛЧМ сигнала. В итоге получаем очевидный энергетический выигрыш при скорости V_3 до 12 дБ, тем самым повышаем помехозащищенность ЛЧМ сигнала на фоне загра-

дительной помехи противника.

Полученные результаты позволяют судить о достижении цели исследования. Разработанная методика позволяет повысить помехозащищенность за счет многократного приема ЛЧМ сигнала путем уменьшения скорости передачи информации.

Статья рекомендована к публикации научным руководителем автора Дворниковым Сергеем Викторовичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры радиосвязи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: practicsdv@yandex.ru.

Литература

1. Чан Х.Н., Подстригаев А.С., Нгуен Ч.Н. Алгоритмы анализа линейно-частотно-модулированных сигналов на основе частотно-временного анализа // XXVIII Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти Б.Я. Осипова «Радиолокация, навигация, связь» (Воронеж, Россия, 27–29 сентября 2022). Воронеж: Воронежский государственный университет, 2022. Т. 2. С. 371–378.
2. Дворников С.В., Кузнецов Д.А., Кожевников Д.А., Пшеничников А.В., Манаенко С.С. Теоретическое обоснование синтеза ансамбля биортогональных сигналов с повышенной помехоустойчивостью // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2015. № 5. С. 16–20.
3. Зотов К.Н., Жданов Р.Р. О применимости помех в сетях сотовой связи для создания защищенного канала связи // Вестник СибГУТИ. 2020. № 3(51). С. 90–100.
4. Дворников С.В., Кудрявцев А.М. Теоретические основы частотно-временного анализа кратковременных сигналов. СПб.: ВАС, 2010. 240 с.
5. Захаров В.Л., Витомский Е.В. Методы построения помехозащищенных ППРЧ-сигналов // Известия Института инженерной физики. 2019. № 4(54). С. 50–54.

METHODOLOGY FOR INCREASING THE NOISE IMMUNITY OF DECAMETER COMMUNICATION LINES BASED ON MULTIPLE RECEPTION OF LINEAR FREQUENCY MODULATION SIGNALS

Smetanin S.S.¹

Keywords: linear frequency modulation signals, noise immunity, decameter communication lines, power spectral density, correlation integral, bit error probabilities.

Abstract: In this article, a technique has been developed to increase the noise immunity of decameter communication lines based on multiple reception of linear frequency modulation signals. The technique is implemented by repeatedly receiving an LFM signal by comparing the spectral density of the signal power (comparing areas) by changing (decreasing) the information transmission rate.

The purpose of the work is to increase noise immunity by repeatedly receiving an LFM signal by comparing the spectral density of the signal power (comparing areas) by changing (decreasing) the information transmission rate.

Research results: The article analyzes the FM signals and compares them with other types of signals, and identifies their advantages. The LFM signal is presented when the information transmission rate changes (decreases) when exposed to enemy barrage interference by comparing the spectral power density of the signal (area comparison). Binary structures of the LFM signal are presented when the transmission rate changes (decreases). The required error probability (10-3) has been calculated in MathCad when the transmission rate of the FM signal is changed (decreased).

¹Sergey S. Smetanin, Adjunct of the Department of Radio Communications, S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: smit130189@mail.ru

Scientific novelty: *For the first time, a technique has been developed to increase the noise immunity of decimeter communication lines based on multiple reception of linear frequency modulation signals by comparing the spectral power density of the signal (comparing areas) by changing (decreasing) the information transmission rate.*

References

1. Chan H.N., Podstrigaev A.S., Nguyen C.N. Algorithms for analyzing linear frequency-modulated signals based on time-frequency analysis // XXVIII International Scientific and Technical Conference dedicated to the memory of B.Ya. Osipov "Radar, navigation, communications" (Voronezh, Russia, September 27-29, 2022). Voronezh: Voronezh State University, 2022. Vol. 2. S. 371-378.
2. Dvornikov S.V., Kuznetsov D.A., Kozhevnikov D.A., Pshenichnikov A.V., Manaenko S.S. Theoretical substantiation of synthesis of an ensemble of biorthogonal signals with increased noise immunity // Questions of radio electronics. Series: Television technology. 2015. № 5. S. 16-20.
3. Zotov K.N., Zhdanov R.R. On the applicability of interference in cellular networks to create a secure communication channel // Bulletin of SibGUTI. 2020.№ 3(51). S. 90-100.
4. Dvornikov S.V., Kudryavtsev A.M. Theoretical foundations of time-frequency analysis of short-term signals. SPb.: VAS, 2010. S. 240.
5. Zakharov V.L., Vitomsky E.V. Methods of constructing interference-protected RF signals // Proceedings of the Institute of Engineering Physics. 2019. № 4(54). S. 50-54.



ЧАСТНЫЕ МОДЕЛИ ПРЕВЕНТИВНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОТКАЗОВ: КУМУЛЯТИВНАЯ И ВЕРОЯТНОСТНО-ГРАФОВАЯ

Будко П.А.¹, Южакова А.А.²

DOI: 10.21681/3034-4050-2025-3-35-41

Ключевые слова: кумуляция, надежность, объект контроля, превентивная идентификация отказа, прогнозирование, профилактический допуск, техническое обслуживание, техническое состояние, эксплуатационный допуск.

Цель работы: состоит в разработке общей модели превентивной идентификации отказов для обоснованного перехода к более прогрессивным комплексным стратегиям технического обслуживания и ремонта, ориентированным на надежность: обслуживанию по фактическому состоянию, прогнозному обслуживанию.

Метод: системный анализ, теория графов, математическое моделирование.

Результаты исследования: предложена общая модель превентивной идентификации отказов объекта контроля, состоящая из двух частных: кумулятивной модели отказа типа «параметр – поле допуска» и вероятностно-графовой модели идентификации и прогнозирования отказа.

Первая частная модель позволяет рассчитать профилактические допуски на контролируемые параметры с учетом ошибок контроля первого и второго рода в интересах прогнозного обслуживания, вторая – получать аналитические зависимости для нахождения вероятности каждого вида технического состояния объекта контроля и финальных вероятностей для состояний с учетом ошибок прогнозирования первого и второго рода.

Разработанные частные модели превентивной идентификации отказов – кумулятивная модель отказа типа «параметр – поле допуска» и вероятностно-графовая модель идентификации и прогнозирования отказа предназначена для решения задач прогнозирования технического состояния объекта контроля.

Научная новизна: частные модели в совокупности, в отличие от существующих, учитывают не только области нормального функционирования и полного отказа, но и области предотказа и параметрического (скрытого отказа), что позволяет не допустить внезапного отказа, соответственно, не допустить простоя, обосновать пороги эксплуатационных и профилактических допусков.

Введение

Появление новых технологий мониторинга технического состояния объекта контроля, ориентированных на переход от пассивных методов контроля, констатирующих факт наступления отказа, к активным методам прогнозного контроля обосновывает потребность и созданные для этого условия перехода к стратегиям управления надежностью по фактическому состоянию и прогнозному обслуживанию. Прогнозирование надежности и технического состояния объектов контроля играет важную роль при индивидуальном планировании их эксплуатации [1]. Основные трудности при решении задачи прогноза для перехода к стратегии эксплуатации по фактическому состоянию связаны с тем, что прогнозирование необходимо осуществлять для каждого объекта индивидуально, при малых объемах

результатов контроля, а также при наличии помех и ошибок контроля, статистические свойства которых достоверно не известны. В таких условиях методы математической статистики теряют свою привлекательность, а их применение в интересах прогнозирования ведет к ошибкам и низкой достоверности прогноза.

Действительно, стратегия технического обслуживания по фактическому состоянию в последнее время привлекает все большее внимание специалистов. Ее называют индивидуальной, поскольку она ориентирована на реальное состояние и учитывает особенности конкретного объекта контроля, а не опыт многолетней эксплуатации аналогичных объектов и статистику, для корректного применения которых важна статистическая однородность (типаж) подконтрольного оборудования, а также значительные объемы измерительной информации [2, 3].

¹Будко Павел Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи, ученый секретарь ПАО «Интелтех», г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: budko62@mail.ru

²Южакова Анна Алексеевна, адъюнкт кафедры технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: anutikaaa@mail.ru

Помимо этого, появление новых видов состояний, например, «предотказного» и «опасного» (ГОСТ 27.002-2015), несомненно, влечет за собой работу по совершенствованию научно-методического аппарата для перехода к новым стратегиям управления надежностью, в том числе в части прогнозного обслуживания [4].

Соответственно, предлагается общая модель превентивной идентификации отказов объекта контроля, состоящая из двух частных:

- кумулятивной модели отказа типа «параметр – поле допуска», позволяющей рассчитать профилактические допуски на контролируемые параметры с учетом ошибок контроля первого и второго рода в интересах проактивного обслуживания;
- вероятностно-графовой модели идентификации и прогнозирования отказа, позволяющей получать аналитические зависимости для нахождения вероятности каждого вида технического состояния объекта контроля и финальных вероятностей для состояний «работоспособное», «предотказное» и «неработоспособное» с учетом ошибок прогнозирования первого и второго рода.

Выходными данными модели будут минимально необходимое и максимально целесообразное поле допуска, значение профилактических допусков на контролируемые параметры и вероятности каждого вида технического состояния.

Также введены некоторые ограничения и допущения, например, модель разрабатывается

в интересах идентификации постепенных параметрических скрытых отказов, составляющих 90 % всех видов отказов [2, 3], а не внезапных, типа «боевые повреждения» и ошибки персонала; в исследовании выбираются наиболее значимые из множества контролируемых параметров, так как обеспечить повышение надежности путем улучшения качества контроля абсолютно всех параметров одновременно не представляется возможным; в исследовании рассматриваются виды технического состояния – «работоспособное», «предотказное», «неработоспособное», «предельное» («рабочее», «нерабочее», «исправное», «неисправное» и «опасное» не учитываются); в исследовании осуществлен учет исключительно параметрических и аппаратных ресурсов, а также управление ими, не беря во внимание частотные, энергетические и другие виды ресурсов.

Частная кумулятивная модель отказа типа «параметр – поле допуска»

Говоря об изменении модели надежности объекта контроля при переходе к передовым стратегиям технической эксплуатации [5, 6] предлагается модифицированная частная кумулятивная модель отказа типа «параметр – поле допуска» в интересах моделирования проактивного обслуживания устройств и систем телекоммуникаций, а также введения предотказного вида состояния, характеризованного повышенным риском его отказа.

Модель можно представить геометрически, как показано в общем виде на рис. 1.

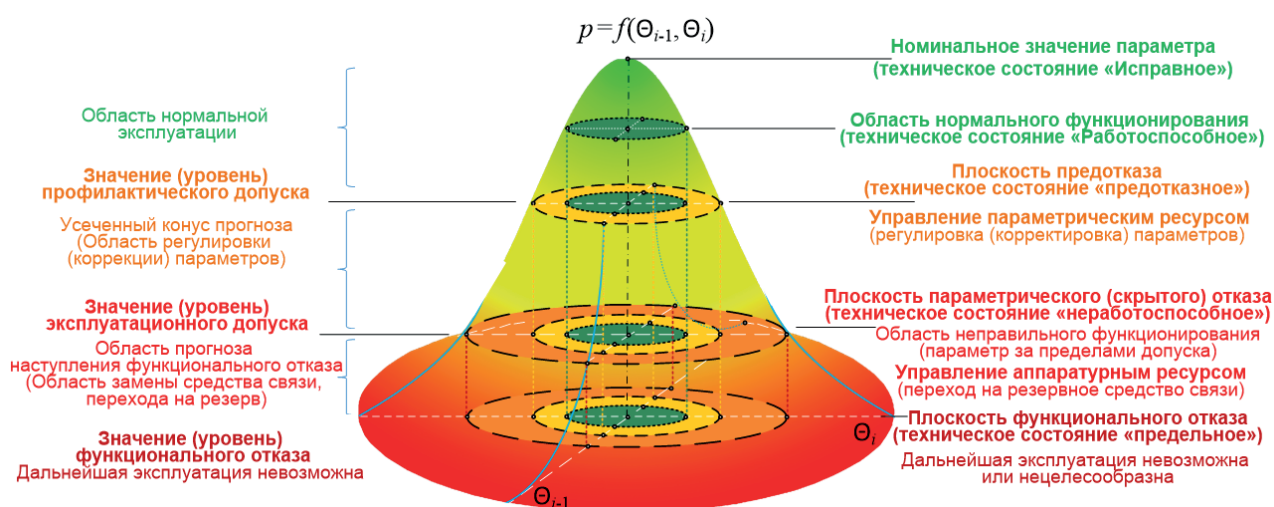


Рис. 1. Геометрическая интерпретация частной кумулятивной модели отказа типа «параметр – поле допуска»

Такое геометрическое представление рассматриваемой модели несколько идеализировано, поскольку во-первых, выбор параметров и расчет его эксплуатационных допусков строго индивидуален в процессе моделирования, а во-вторых, в сечении плоскости допустимого значения $p_{\text{доп}}$ комплексного показателя качества с областью (телом) неопределенности $p = f(\Theta_{i-1}, \Theta_i)$, строго говоря, в виде эллипса качества не всегда будет наблюдаться правильный эллипс (для двухпараметрического пространства), в том числе и в силу несимметричности допусков «+Δ» и «-Δ» на параметры (рис. 2) или из-за развития внезапных отказов в отношении одного или более коррелированных параметров, требующих приоритетности по времени обслуживания для недопущения аварии.



Рис. 2. Геометрическое представление параметра и поля допуска на него

Номинальное значение контролируемого параметра находится в вершине, при его незначительных отклонениях как в одну, так и в другую сторону остается в области нормального функционирования, при значительных отклонениях от номинального значения попадает в область предотказа, далее область параметрического скрытого отказа и область функционального отказа.

При пересечении первых двух – функционального отказа может не произойти, наступит только параметрический, но, если вовремя не обратить на это внимание, значение параметра в связи с неправильным функционированием деградирует, упадет в самую нижнюю плоскость «предельного» состояния, когда дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, нарушится связность всей сети, она заблокируется, снизится боевая готовность, что недопустимо.

Описание области полного отказа путем назначения эксплуатационных допусков известно, нас интересует назначение профилактических допусков, что крайне важно для внедрения стратегии управления надежностью на основе прогнозирования вида технического состояния, индивидуального и превентивного характера упреждения отказов. Геометрическая интерпретация назначения допусков для кумулятивной модели отказа с учетом наличия для каждого

из рассматриваемых допусков ошибок контроля первого и второго рода представлена на рис. 3.

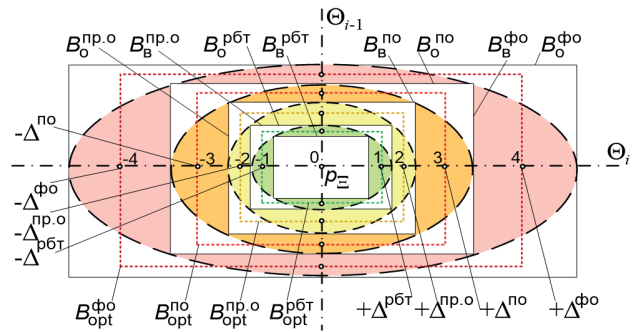


Рис. 3. Кумуляция профилактических и эксплуатационных допусков на параметры объекта контроля

Для двухпараметрического пространства параметров ($m = 2$) моделирование допусков на параметры можно осуществить с использованием ошибок контроля первого рода α через описанные вокруг эллипсов качества прямоугольники, характеризующие технические состояния объекта контроля «работоспособное» — $B_{рбт}$, «предотказное» — $B_{пр.о}$, «параметрический отказ» — $B_{по}$ и «функциональный отказ» — $B_{ф.о}$, а также ошибок контроля второго рода β через вписанные в эллипсы качества прямоугольники, характеризующие эти состояния и отказы $B_{рбт}$, $B_{пр.о}$, $B_{по}$, $B_{ф.о}$.

Частная вероятностно-графовая модель идентификации и прогнозирования отказа

Функционирование объекта контроля на основе многоуровневого принципа построения характеризуется огромным числом параметров, контролируемых (наблюдаемых) с разных контуров управления (серверов мониторинга), поэтому и саму процедуру мониторинга технического состояния объекта контроля необходимо проводить поэтапно [7, 8], в связи с чем предлагается вторая частная модель – вероятностно-графовая модель идентификации и прогнозирования отказа, состоящая из этапа обнаружения предотказа, этапа распознавания параметрического отказа и этапа прогнозирования функционального отказа.

Графовые модели достаточно широко применяются в Байесовской статистике, в теории вероятностей, а также в машинном обучении [9].

На рис. 4 представлены зависимости между случайными величинами, характеризующими состояние объекта контроля, в виде графа, при этом вершины графа соответствуют видам технического состояния, а его ребра представляют

вероятностную взаимосвязь случайных величин. На рисунке показаны: $P_1 = 1 - P_2$ — априорные

вероятности отсутствия аномальной ситуации и P_2 — ее наличие.

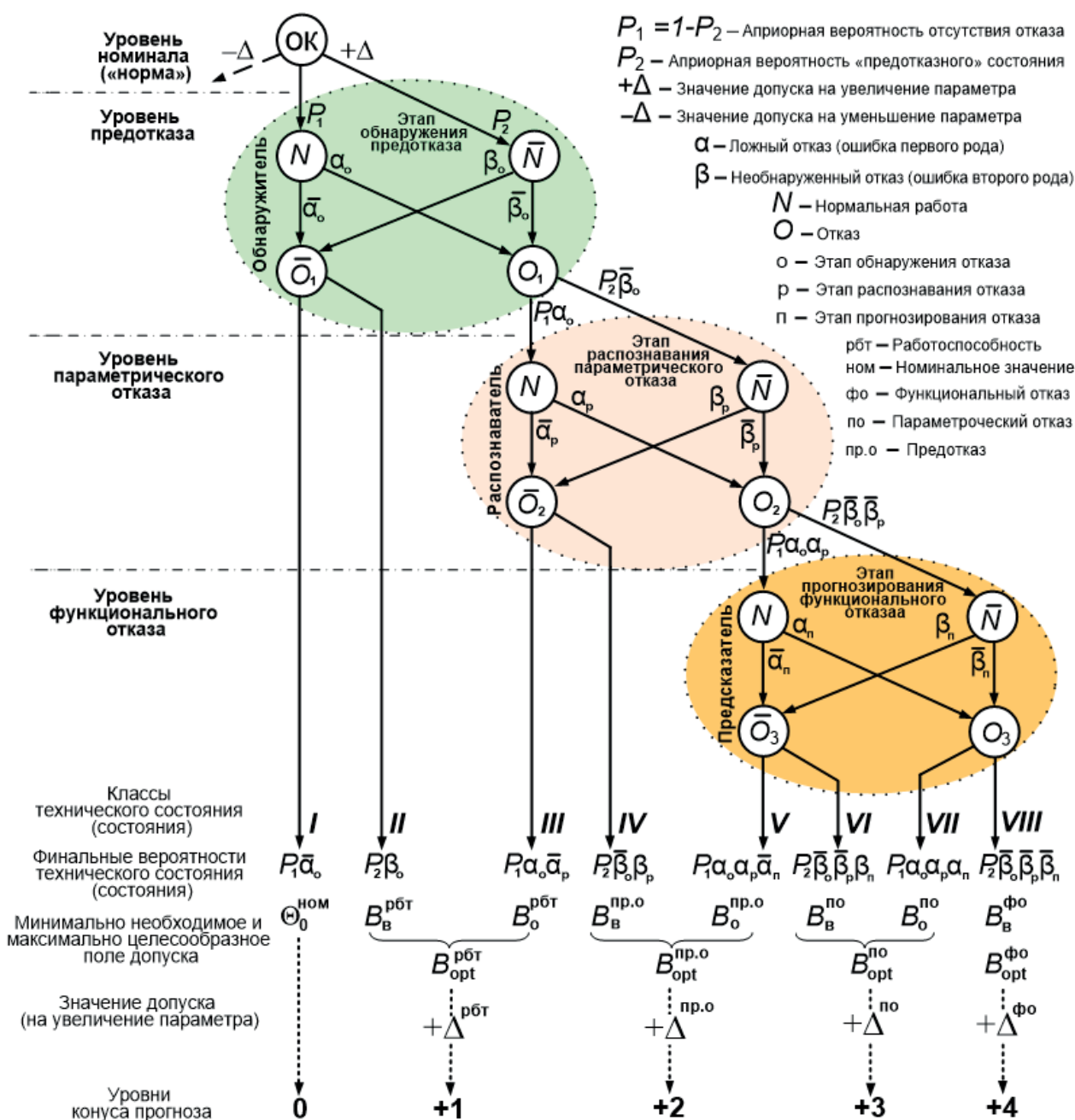


Рис. 4. Вероятностно-графовая модель идентификации и прогнозирования отказа

В предложенной модели идентификации можно выделить финальные значения вероятностей их нахождения в каком-либо техническом состоянии [10], используемом для определения этого класса:

- класс «I» — система работоспособна, признана работоспособной;

- класс «II» — система заблокирована, отказ не обнаружен, предотказ не обнаружен;
- класс «III» — система работоспособна, признана работоспособной;
- класс «IV» — система заблокирована, отказ не распознан, параметрический отказ не распознан;

- класс «V» — прогноз состояния «работоспособное», ложный отказ не распознан;
- класс «VI» — прогноз состояния «неработоспособное», отказ обнаружен и не распознан;
- класс «VII» — состояние «работоспособное», ложный прогноз отказа;
- класс «VIII» — прогноз состояния «неработоспособное», отказ обнаружен и распознан.

Классы состояний «V–VIII», показанные на рис. 4 можно отнести к завершающему ее этапу работы – прогнозированию, в то время как классы «I–IV» относятся к обнаружению и распознаванию «предотказного» и «неработоспособного» состояния.

Последствия для объекта контроля:

- класс «I» – эксплуатация;
- класс «II» – снижение боевой готовности;
- класс «III» – профилактика;
- класс «IV» – снижение боевой готовности;
- класс «V» – ложный резерв;
- класс «VI» – резерв;
- класс «VII» – ложный резерв;
- класс «VIII» – резерв.

В соответствии с вероятностно-графовой моделью идентификации и прогнозирования отказа математически виды технических состояний можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned}\langle I \rangle &= P_1 \bar{\alpha}_o; \\ \langle II \rangle &= P_2 \bar{\beta}_o; \\ \langle III \rangle &= P_1 \alpha_o \bar{\alpha}_p; \\ \langle IV \rangle &= P_2 \bar{\beta}_o \bar{\beta}_p; \\ \langle V \rangle &= P_1 \alpha_o \alpha_p \bar{\alpha}_n; \\ \langle VI \rangle &= P_2 \bar{\beta}_o \bar{\beta}_p \bar{\beta}_n; \\ \langle VII \rangle &= P_1 \alpha_o \alpha_p \alpha_n; \\ \langle VIII \rangle &= P_2 \bar{\beta}_o \bar{\beta}_p \bar{\beta}_n.\end{aligned}$$

В общем виде вариационный ряд предпочтений видов состояния с учетом достоверности прогноза математически можно выразить как:

$$\langle I \rangle > \langle VIII \rangle > \langle V \rangle > \langle VII \rangle > \langle III \rangle > \langle VI \rangle > \langle IV \rangle > \langle II \rangle$$

Исходя из представленной модели, аналитические выражения для определения вероятности идентификации подсистемой мониторинга «работоспособного» состояния ($P_{\text{рбтс}}$) и, соответственно, вероятности идентификации ею «неработоспособного» состояния (отказа) $P_{\text{отк}}$ будут иметь вид:

$$P_{\text{рбтс}} = 1 - \left[\bar{\beta}_n \left\{ 1 - \left(1 - P_1^o \alpha_o \bar{\beta}_p \right) \left(1 - P_1^p \alpha_p \right) \right\} \right] \left[1 - P_1^n \alpha_n \right],$$

$$P_{\text{отк}} = 1 - \bar{\beta}_n \left[1 - \bar{\beta}_p \left\{ 1 - \left(1 - P_2^o \alpha_o \bar{\beta}_o \right) \left(1 - P_2^p \right) \right\} \right] \left[1 - P_2^p \right].$$

Таким образом, модель позволяет получать аналитические зависимости для нахождения вероятности каждого вида технического состояния объекта контроля, характеризующих предотказ, параметрический отказ, функциональный отказ, а также финальные вероятности для состояний «работоспособное», «предотказное» и «неработоспособное» не только с использованием ошибок контроля (ошибки обнаружения и ошибки распознавания отказов), но и ошибок прогноза первого и второго рода.

Заключение

Общая модель превентивной идентификации отказов объекта контроля, состоящая из двух частных: кумулятивной модели отказа типа «параметр – поле допуска» и вероятностно-графовой модели идентификации и прогнозирования отказа в отличии от существующих ранее учитывает не только области нормального функционирования и полного отказа, но и области предотказа и параметрического (скрытого отказа), что позволяет не допустить внезапного отказа, соответственно, не допустить простоя, обосновать пороги эксплуатационных и профилактических допусков.

Теоретически обоснован переход к стратегии прогнозного технического обслуживания в процессе управления надежностью объектов контроля; математически обоснован вид технического состояния «предотказное» через расчет профилактических допусков (на уровне $\approx 0,8$ от значения эксплуатационных допусков); осуществлено дальнейшее развитие элементов теории надежности через получение аналитических зависимостей для нахождения вероятности каждого вида технического состояния объекта контроля, характеризующих предотказ, параметрический отказ, функциональный отказ, а также финальные вероятности для состояний «работоспособное», «предотказное» и «неработоспособное» не только с использованием ошибок контроля (ошибки обнаружения и ошибки распознавания отказов), но и ошибок прогноза первого и второго рода.

Предложенные частные модели должны лечь в основу создания подсистемы мониторинга нового поколения (на основе прогнозного контроля) для разрабатываемых в настоящее время изделий.

Литература

1. Абрамов О. В. Прогнозирование состояния и планирование эксплуатации систем ответственного назначения // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 3 (31). С. 5–14.
2. Будко Н. П. Сокращение объема измерительной информации на основе интеллектуального подхода к построению системы мониторинга информационно-телекоммуникационной системы // Техника средств связи. 2021. № 1 (153). С. 86–97.
3. Аллакин В. В., Голунов М. В. Анализ научно-методического аппарата удаленного мониторинга технического состояния информационно-телекоммуникационных сетей и систем // Техника средств связи. 2020. № 4 (152). С. 17–37.
4. Абрамов О. В., Назаров Д. А. Методы и средства интеллектуальной поддержки прогноза технического состояния систем ответственного назначения // Информатика и системы управления. 2022. № 4 (74). С. 54–63.
5. Боговик А. В., Сафиулов Д. М., Шмидт А. А. Математические модели процесса мониторинга технического состояния радиосредств специального назначения // Техника средств связи. 2024. № 3 (167). С. 31–41.
6. Будко П. А., Груздев А. А., Шаталов А. Е., Шмидт А. А. Модель формирования системы интеллектуального мониторинга состояния информационно-телекоммуникационной сети Росморречфлота // Морская радиоэлектроника. 2024. № 2 (88). С. 20–27.
7. Аллакин В. В., Будко Н. П., Васильев Н. В. Общий подход к построению перспективных систем мониторинга распределенных информационно-телекоммуникационных сетей // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 4. С. 125–227.
8. Аллакин В. В., Будко Н.П. Идентификация состояния узлов информационно-телекоммуникационных сетей общего пользования подсистемой мониторинга информационной безопасности // Техника средств связи. 2020. № 3 (151). С. 58–64.
9. Аллакин В. В. Модель идентификации технического состояния устройств информационно-телекоммуникационных сетей подсистемой сетевого мониторинга // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 5. С. 40–64.
10. Аллакин В. В. Анализ методов оценки временных рядов сервером мониторинга информационно-телекоммуникационной сети общего пользования // Техника средств связи. 2021. № 2 (154). С. 60–80.

PARTICULAR MODELS OF PREVENTIVE FAILURE IDENTIFICATION: CUMULATIVE AND PROBABILISTIC-GRAPH

Budko P.A.¹, Yuzhakova A.A.²

Keywords: *cumulation, forecasting, identification, maintenance, reliability, object of control, operational tolerance, preventive tolerance, preventive failure, technical condition.*

The purpose of the work is to develop a general model of preventive failure identification for a justified transition to more advanced integrated maintenance and repair strategies focused on reliability: condition-based maintenance, predictive maintenance.

Method: *system analysis, graph theory, mathematical modeling.*

Results of the study: *a general model of preventive identification of failures of the object of control is proposed, consisting of two particulars: a cumulative failure model of the "parameter – tolerance field" type and a probabilistic-graph model of failure identification and prediction.*

The first partial model makes it possible to calculate preventive tolerances for the monitored parameters, taking into account control errors of the first and second types in the interests of prognostic maintenance, the second - to obtain analytical dependencies to find the probability of each type of technical condition of the object of control and final probabilities for states taking into account forecasting errors of the first and second types.

The developed particular models of preventive failure identification are a cumulative failure model of the "parameter – tolerance field" type and a probabilistic-graph model of failure identification and prediction for solving the problems of predicting the technical condition of the tested object.

Scientific novelty: *the individual models in the aggregate, in contrast to the existing ones, take into account not only the areas of normal functioning and complete failure, but also the areas of pre-failure and parametric (latent failure), which makes it possible to prevent a sudden failure, respectively, to prevent downtime, to substantiate the thresholds of operational and preventive tolerances.*

¹Pavel A. Budko, Dr.Sc. (of Technical), Professor, Professor of the Department of Technical Support of Communications and Automation of the Military Academy of Communications, Scientific Secretary of Inteltech PJSC, St. Petersburg, Russia. E-mail: budko62@mail.ru

²Anna A. Yuzhakova, Adjunct of the Department of Technical Support of Communications and Automation, Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: anutikaaa@mail.ru

References

1. Abramov O. V. Prognozirovanie sostojanija i planirovanie jekspluatacii sistem otvetstvennogo naznachenija // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2020. № 3 (31). S. 5–14.
2. Budko N. P. Sokrashhenie ob#ema izmeritel'noj informacii na osnove intellektual'nogo podhoda k postroeniju sistemy monitoringa informacionno-telekommunikacionnoj sistemy // Tehnika sredstv svjazi. 2021. № 1 (153). C. 86–97.
3. Allakin V. V., Golyunov M. V. Analiz nauchno-metodicheskogo apparata udalennogo monitoringa texnicheskogo sostoyaniya informacionno-telekommunikacionny`x setej i sistem // Tehnika sredstv svjazi. 2020. № 4 (152). C. 17-37.
4. Abramov O. V., Nazarov D. A. Metody i sredstva intellektual'noj podderzhki prognoza tehničeskogo sostojanija sistem otvetstvennogo naznachenija // Informatika i sistemy upravlenija. 2022. № 4 (74). S. 54–63.
5. Bogovik A. V., Safiulov D. M., Shmidt A. A. Matematicheskie modeli processa monitoringa tehničeskogo sostojanija radiosredstv special'nogo naznachenija // Tehnika sredstv svjazi. 2024. № 3 (167). C. 31–41.
6. Budko P. A., Gruzdev A. A., Shatalov A. E., Shmidt A. A. Model' formirovanija sistemy intellektual'nogo monitoringa sostojanija informacionno-telekommunikacionnoj seti Rosmorrechflota // Morskaja radiojelektronika. 2024. № 2 (88). S. 20–27.
7. Allakin V. V., Budko N. P., Vasil'ev N. V. Obshhij podhod k postroeniju perspektivnyh sistem monitoringa raspredelennyh informacionno-telekommunikacionnyh setej // Sistemy upravlenija, svjazi i bezopasnosti. 2021. № 4. S. 125–227.
8. Allakin V. V., Budko N.P. Identifikaciya sostoyaniya uzlov informacionno-telekommunikacionny`x setej obshhego pol' zovaniya podsistemoj monitoringa informacionnoj bezopasnosti // Tehnika sredstv svjazi. 2020. № 3 (151). C. 58-64.
9. Allakin V. V. Model' identifikacii tehničeskogo sostojanija ustrojstv informacionno-telekommunikacionnyh setej podsistemoj setevogo monitoringa // Sistemy upravlenija, svjazi i bezopasnosti. 2021. № 5. C. 40–64.
10. Allakin V. V. Analiz metodov ocenki vremenny`x ryadov serverom monitoringa informacionno-telekommunikacionnoj seti obshhego pol' zovaniya // Tehnika sredstv svjazi. 2021. № 2 (154). C. 60-80.



РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

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

DOI:10.21681/3034-4050-2025-3-42-58

Ключевые слова: робототехнические средства, комплексы, групповое применение, управление, методы и способы управления, роевой интеллект, информатизация управления.

Аннотация

Цель работы: состоит в исследовании технологий группового управления робототехническими комплексами (РТК), проблем и путей решения задач управления РТК военного назначения (РТК ВН) в составе робототехнической системы.

Метод исследования: системный подход, исторический подход, метод анализа.

Результаты исследования: приведены результаты анализа основных тенденций развития технологий интеллектуального управления РТК ВН и необходимые условия поиска соответствующих нормативно-правовых и технологических решений для обеспечения доверия к системам с искусственным интеллектом, а также обеспечения безопасности информационного обмена в системах группового управления РТК ВН.

Представлены особенности применения РТК ВН по результатам анализа современных военных конфликтов и недостатки в теории и практике управления РТК ВН, обуславливающие симптомы проблемы. Известные в настоящее время теоретические модели и сценарии применения и группового управления РТК ВН недостаточно адекватны новым формам и способам применения войск. Методом анализа определены основные тенденции развития технологий группового управления РТК ВН. Определены основные недостатки в практике применения РТК ВН и факторы, определяющие актуальность поиска новых методов и способов информационного обеспечения и защиты информационных ресурсов систем группового управления РТК ВН.

Научная новизна: заключается в обобщении известных подходов к решению задач группового управления РТК ВН. Определены необходимые и достаточные условия информатизации управления РТК в составе системы. Сформированы актуальные научные задачи разработки соответствующих нормативно-правовых и организационно-технических предложений по обеспечению защиты информационных ресурсов с учетом условий и специфики задач, решаемых с помощью РТК ВН.

Введение

В странах НАТО направлением развития вооружения, обеспечивающим сдерживание Китая и России считается массовое применение робототехнических средств (РТС) и комплексов (РТК) боевого и обеспечивающего назначения. Предполагается создание и развитие систем с групповым управлением на основе роевого интеллекта. Повышение интеллектуальности системы управления большими группами РТС общего назначения наблюдается в демонстрируемых разработках Китая и США. РТК военного назначения (РТК ВН) дополнительно оснащаются аппаратурой разведки и передачи данных. Размещение средств вооружения на роботизированных платформах существенно изменяет стратегию и полностью

изменяет тактику боевых действий. Объединение роботизированных средств разведки и средств поражения в единый комплекс, распределенный в пространстве, позволяет получить разведывательно-ударный комплекс нового типа, который является роботизированной разведывательно-поражающей системой, в которой синергетический эффект от объединения разнотипных распределенных в пространстве средств разведки, поражения и обеспечения многократно выше по сравнению с традиционными разведывательно-ударными комплексами. В то же время возрастает значимость применяемых в системах управления такими разведывательно-ударными комплексами методов и технологий информационного обеспечения и защиты информационных ресурсов.

¹Худайназаров 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

²Соколов Андрей Петрович, соискатель Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: andi.10@bk.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

Групповое применение и управление РТК, основные задачи исследований

Известные в настоящее время исследования форм, методов и способов применения робототехнических комплексов (РТК) для решения боевых и обеспечивающих задач в основном предполагают индивидуальное управление по принципу один РТК – один орган управления. Известные открытые работы в области группового применения и группового управления РТК имеют концептуальный характер и не раскрывают технологические особенности. Вместе с тем, отмечается, что в основе разработки новых форм, методов и способов вооруженной борьбы с применением традиционных сил и средств совместно с РТК лежит практический опыт боевых действий и моделирование.

На систематизацию опыта использования групп РТК, выработку единых подходов к формированию сценариев боевого применения групп РТК нацелены работы Пшихопова В.Х. В статье [1] даны новые термины и определения, используемые 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». Групповое управление, направленное 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. В связи с этим, к области исследований военных наук отнесены следующие научные задачи:

- обоснование перечня типовых боевых задач, для решения которых могут применяться РТК и их группы;
- определение этапов применения комплексов с учетом возможностей и действий традиционных сил и средств, а также возможного изменения обстановки;
- разработка форм и способов боевого применения РТК ВН и их групп.

С учетом особенностей группового применения вырабатываются требования к управлению РТК ВН и к системе группового управления.

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. Автором [2] определены

актуальные научные задачи в области технических наук:

- совершенствование существующих инструментально-моделирующих комплексов в части учета особенностей планирования и реализации действий групп РТК ВН, внедрение моделей системы группового управления ими;
- разработка унифицированного инструментально-моделирующего комплекса группового применения РТК ВН совместно с традиционными силами и средствами.

Развитие технологий группового управления РТК ВН

Одним из направлений исследований в области обеспечения управления РТК при их массовом применении является имитация «роевого интеллекта». Изначально замысел использования аналогии из живой природы был определен Херардо Бени и Ван Цзином в 1989 году. Роевой интеллект (англ. Swarm intelligence) является способностью (свойством) самоорганизующейся системы, состоящей из множества подобных друг другу в достаточной мере подсистем (агентов), способных обмениваться информацией об окружающей среде и синхронизироваться при выполнении задач в интересах общей (коллективной) задачи. Технология роевого управления РТС имитирует процессы информационного обмена в группе насекомых, стае птиц или рыб которые могут периодически или по определенному событию формировать подгруппы с локальными лидерами в каждой из них.

Управление «роем роботов» возможно с различной степенью автономности: непосредственное управление одним человеком-оператором или множеством (коллективом) операторов, если «рой» разделен на подгруппы, а также опосредованное управление через лидера в группе. Построение боевого порядка, маневры внутри роя могут выполняться автоматически с помощью искусственного (роевого) интеллекта [3].

Появление на поле боя множества малогабаритных и недорогих РТК полностью меняет стратегию и тактику противовоздушной обороны, противотанковой и контрбатареиной борьбы. Кроме того, способность обмениваться информацией о расположении и действиях ПВО, осуществлять противозенитное маневрирование, ставить помехи радиолокационным системам, наносить удары по средствам ПВО и прикрываемым ими объектам делает существующие системы ПВО неэффективными [4]. В то же время, для роя роботов задачи не ограничиваются борьбой с системой ПВО: поиск и блокирование пусковых установок баллистических ракет, засадные действия

в районах передвижения техники и войск, а также поражение критически важных объектов инфраструктуры, точечные удары во время погрузки или разгрузки транспортных и боевых кораблей могут быть наиболее эффективными при обеспечении возможности быстрого сосредоточения и рассредоточения малогабаритных ударных РТС.

Расширению возможностей применения «роёв» РТС по нанесению ударов до глобальных масштабов способствует размещению малогабаритных РТС на авианосцах, стратегических самолетах и беспилотных летательных аппаратах. Этому направлению уделяется большое внимание в разработках США. Так, совершенствуется палубный БПЛА X-47B Pegasus (рис. 1). Известны также разработки по проекту Gremlins (рис. 2) агентства перспективных оборонных исследований минобороны США (DARPA) [3]. Идея проекта заключается в размещении на борту самолета системы управления малогабаритными БПЛА, которые могут массово взлетать и садиться на него. При этом габариты таких РТС авиационного базирования со временем будут уменьшаться до микро и нано-размеров. Учеными Гарварда создан прототип летающего микро-робота (рис. 3) с названием «Робомуха» (robo-fly), который стал первым летающим микророботом в мире [4].

Robo-Fly изготовленный из углеродного волокна весом 0,1 грамм. В качестве привода



Рис.1. Многоцелевой боевой палубный беспилотник X-47B Pegasus (Northrop Grumman, США)

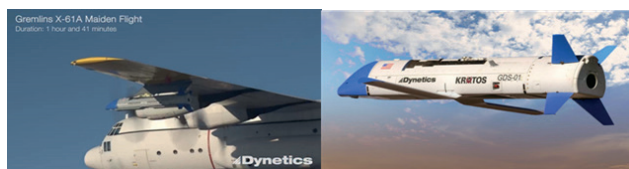


Рис.2. Комплекс Gremlins проект БПЛА X-61A, сброс БПЛА с самолёта-носителя C-130A (разработка компании Dynetics из состава Leidos Company)

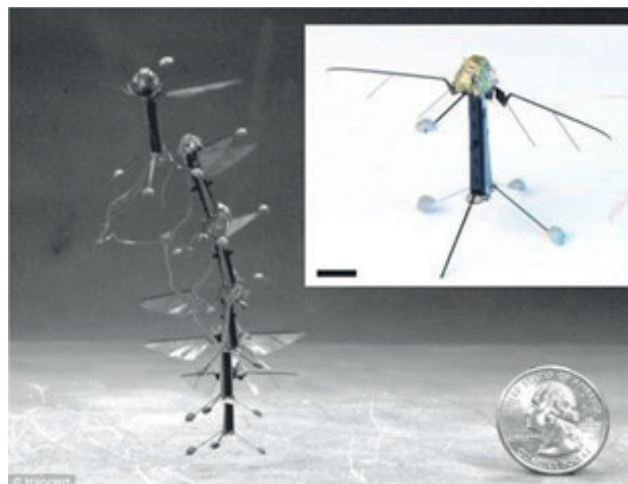


Рис.3. Самый маленький летающий робот в мире «Робомуха» (robo-fly)

крыльев используются пьезоэлементы с частотой генерируемых колебаний 120 Гц. Предполагаемой областью применения этой разработки являются разведывательные действия.

Разработка под названием BionicOpter германской компании Festo представляет собой робострекозу (рис. 4) размером 48 см, с размахом крыльев 70 см и весом 175 г. РТС имеет высокую маневренность: может висеть в воздухе и двигаться боком. В настоящее время разработана система управления роем таких РТС. Предшествующей разработкой компании является роботница SmartBird [5]. Известно, что управление обеспечивается с помощью технологии ZigBee⁴.

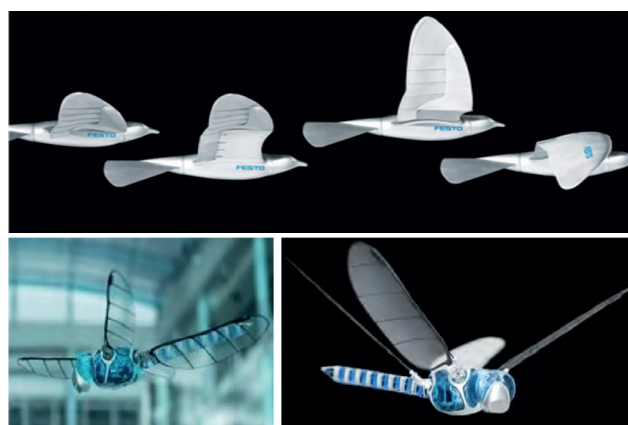


Рис. 4. Роботница (махолёт) или SmartBird и Робострекоза или BionicOpter, разработанные немецкой компанией Festo

⁴<https://www.engadget.com/2011-03-25-festos-smartbird-robot-takes-off-with-elegance-doesnt-fight-s.html> (дата обращения 10.03.2025 г.)

Учёными из Гарвардского и Северовосточного университетов США разработан прото-

тип робопчелы RoboBee (рис. 5), которые могут управляться роевым интеллектом⁵.

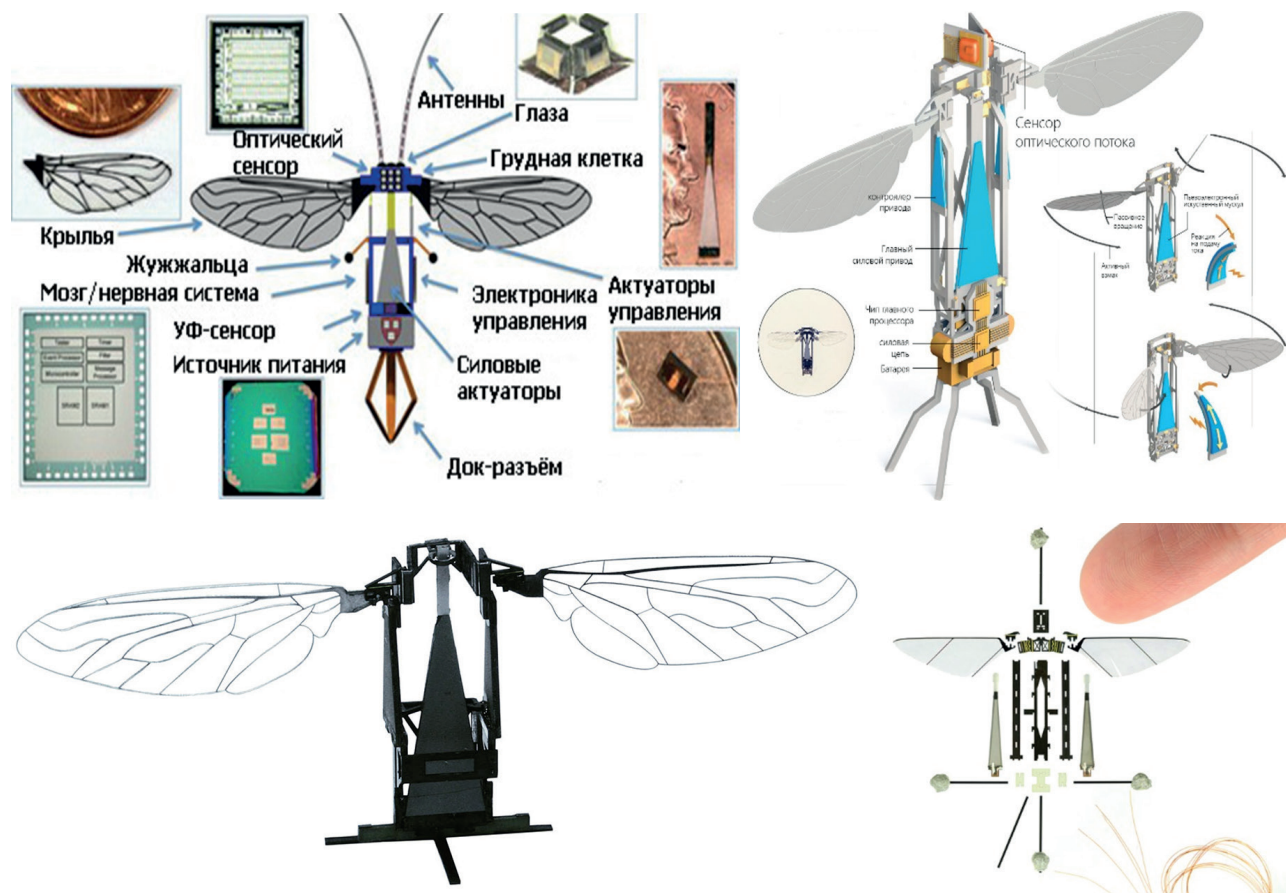


Рис. 5. Робопчела или RoboBee (Гарвардский университета, США)

Для обеспечения управления множеством РТС на основе «роевого интеллекта» необходимо создание специальной системы обмена информацией. В 2012 году в лаборатории прикладной физики Университета Джонса Хопкинса была разработана мобильная одноранговая сеть для обеспечения информационного обмена между РТС в движении. Компания «Боинг» впервые продемонстрировала работу системы расширенного управления беспилотными летательными аппаратами, выполненную по технологии swarm, при этом двумя БПЛА Scan Eagle компании Boeing и БПЛА компании Procerus Unicorn был выполнен совместный полёт и обмен данными, необходимыми для выполнения общей задачи. Управление БПЛА осуществлялось одним оператором путем передачи команд без применения штатных наземных станций управления этими БПЛА.

Технология управления роем морских роботов разработана в интересах ВМС США. В 2014 году была испытана система роевого

управления CARACaS, которую разработали в НАСА. Для обеспечения управления «роем катеров» используется оптико-электронная и радиолокационная системы разведки, система опознавания государственной принадлежности, система идентификации судна, система распознавания противника и анализа ситуации (Contact Detection and Analysis System или сокращенно CDAS), а также система управления движением катеров. Система управления может быть установлена на практически любое надводное судно. Оснащение таких катеров современным оружием позволяет применять их для выполнения сложных задач: блокирование проливов, постановка минных заграждений, борьба на морских и океанских коммуникациях. Аналогичные технологии разработаны для необитаемых подводных аппаратов (НПА), что создает большую угрозу для морской составляющей сил стратегического сдерживания [6].

⁵<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1231806> (дата обращения 10.03.2025 г.).

Повышение эффективности управления роем РТС осуществляется за счёт интеллектуализации самих РТС, а также наращивания их коллективного интеллекта, к тому же еще добавляется возможность подключения к информационным каналам роя любых потребителей, находящихся на поле боя.

Управление военно-морских исследований минобороны США ведет проект Low Cost UAV Swarm Technology (LOCUST) по созданию РТС наземного, воздушного и морского базирования, которые хранятся и запускаются из контейнера в виде гранатомёта. После запуска БПЛА объединяются в «рой», управляемый одним оператором. Задачами комплекса являются обнаружение воздушных, низколетящих и малозаметных целей в широком диапазоне высот и дальностей с высокой точностью определения скорости их полёта⁶.

Перечисленные выше разработки технологий группового управления рассматриваются в качестве перспективных для космоса. Для решения задач дистанционного зондирования Земли эффективным является создание группировок малоразмерных космических аппаратов (МКА), оснащенных аппаратурой различных диапазонов чувствительности: видимого, инфракрасного, радиационного спектра электромагнитных излучений. НАСА совершенствует технологию коллективного управления МКА, в которой каждый участник может посылать сигналы тревоги и оповещать другие спутники о создании новой группы. Работа такого рода новых систем, где сложный объект состоит из коллектива автономно функционирующих, но постоянно взаимодействующих частей, требует принципиально новых подходов, методов и средств построения систем управления.

Американская компания StratoEnergetics представляет концепцию массового мини-оружия⁷. Оружием является автономный мини-дрон с широкоугольными камерами, тактическими датчиками, распознаванием лиц, процессорами, которые могут реагировать в 100 раз быстрее человека, а его стохастическое движение – это функция против снайперов (рис. 6).

Таким образом, основными современными тенденциями развития групповой робототехники являются миниатюризация РТК, объединение их в роботизированные системы и интеллектуализация управления.



Рис. 6. Прототип мини дрона Stringer и его применение (StratoEnergetics, США)

Правовые аспекты военного применения технологий искусственного интеллекта

В современных условиях развития технологий искусственного интеллекта (ИИ) особую актуальность приобретает вопрос правового регулирования данной сферы. Национальная стратегия развития ИИ в Российской Федерации до 2030 года определяет ключевые направления формирования правовой базы, включая обеспечение благоприятных условий для доступа к данным, создание особых режимов для научных исследований, упрощенное тестирование технологических решений и устранение административных барьеров при экспорте продукции. Важным аспектом является разработка этических правил взаимодействия человека с ИИ. В рамках экспериментальных правовых режимов особое внимание уделяется финансовому стимулированию разработок ИИ, включая предоставление субсидий из федерального бюджета на поддержку пилотных проектов в приоритетных отраслях. При этом, как отмечают эксперты [7], безопасность, надежность и устойчивость применения современных технологий, особенно ИИ, ставится во главу угла регулирования данной сферы, в том числе в аспектах сбора и обработки информации.

Также отечественными экспертами обращается особое внимание на существующие правовые и организационные барьеры, а также проблемы внедрения технологий ИИ в различных сферах, включая такие ключевые элементы как большие генеративные модели, фундаментальные модели и перспективные методы ИИ [8].

Актуальной задачей является систематизация современных правовых проблем регулирования ИИ и разработка предложений и рекомендаций по совершенствованию правовой базы. При этом важно учитывать международные аспекты регулирования ИИ и проведение сравнительного анализа с подходами других стран.

⁶<https://modirumgespi.com/locust-swarm> (дата обращения 10.03.2025 г.).

⁷Официальный сайт компании StratoEnergetics <https://stratoenergetics.com> (дата обращения 12.02.2025 г.).

В докладе Международного комитета Красного Креста (МККК)⁸ под автономными системами понимаются системы, которые самостоятельно выбирают цели и применяют силу без участия человека, причем, оператор такой системы не выбирает конкретную цель и не знает точного времени и места применения силы. Основные проблемы и риски применения автономных систем обусловлены утратой человеческого контроля над применением силы; сложностью в прогнозировании и ограничении последствий; повышенными рисками причинения ущерба как комбатантам, так и гражданским лицам; трудностями в соблюдении международного гуманитарного права; этическими вопросами, связанными с передачей решений о жизни и смерти машинам.

Основные рекомендации МККК государствам следующие:

- установить согласованные на международном уровне ограничения;
- запретить непредсказуемые автономные системы вооружений из-за их неизбирательного действия;
- запретить использование автономных систем для нанесения ударов по людям;
- регулировать конструктивные особенности и порядок применения не запрещенных систем;

При этом необходимыми ограничениями военного применения технологий ИИ являются:

- ограничения по видам целей (только военные объекты);
- ограничения по продолжительности, географическому охвату и масштабам применения;
- ограничения по ситуациям применения (отсутствие гражданских лиц);
- требования взаимодействия между человеком и машиной для обеспечения контроля.

МККК рассматривает искусственный интеллект как компьютерные системы, способные решать задачи, требующие когнитивных функций, планирования и логического мышления, при этом машинное обучение определяется как его подвид, основанный на обработке данных. Особое внимание уделяется применению ИИ в военных технологиях и гуманитарной деятельности, где выделяются ключевые риски. Развитие военных технологий ИИ вызывает серьезную обеспокоенность, а последствия их применения для жертв конфликтов остаются недостаточно изученными.

МККК подчеркивает необходимость сохранения человеческого контроля над критическими решениями и тщательного изучения гуманитарных последствий использования ИИ. Приоритетными направлениями становятся исследование влияния ИИ на ведение военных действий, оценка рисков для гражданского населения и разработка рекомендаций по соблюдению международного гуманитарного права при использовании технологий ИИ. Этический аспект проблемы затрагивает вопросы ответственности за действия автономных систем и недопустимость передачи алгоритмам решений о жизни и смерти. В качестве практических выводов МККК указывает на необходимость международного диалога по регулированию ИИ в военных целях и учета гуманитарных аспектов при разработке и применении данных технологий⁹.

В условиях стремительного развития военных технологий и внедрения искусственного интеллекта в системы вооружения, международное сообщество пытается сохранять фундаментальный принцип: человек несет полную ответственность за применение любого оружия, независимо от его технического оснащения.

Анализ показывает, что основными тенденциями развития правового регулирования военного применения систем с ИИ являются:

- усиление требований к человеческому контролю над системами с ИИ;
- расширение круга ответственных лиц (от разработчиков до операторов систем с ИИ);
- ужесточение требований к оценке последствий применения технологий ИИ;
- развитие механизмов контроля и надзора за безопасностью технологий ИИ.

Таким образом, несмотря на автоматизацию военных систем, человек остается ключевым звеном в цепочке ответственности.

Обращает на себя внимание последовательное развитие нормативно-технической базы Российской Федерации в области систем с ИИ. Ряд государственных стандартов целенаправленно определяет вектор развития технологий с ИИ. В частности, определены понятия «доверие к системе искусственного интеллекта», «доверенная система искусственного интеллекта», «предсказуемость системы искусственного интеллекта»¹⁰. Важным свойством для систем с ИИ в аспекте

⁸Доклад Международного комитета Красного Креста «Ответственность за действия автономных систем». М., 2020. 98 с.

⁹Доклад Международного комитета Красного Креста «Искусственный интеллект и международное гуманитарное право». М., 2021. 123 с.

¹⁰ГОСТ Р 59276-2020 «Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения».

безопасности становится доверие к функциям идентификации и аутентификации. В связи с этим, в отечественной нормативно-технической базе определены термины «уровень доверия» и требования к реализации функций идентификации и аутентификации для установления однозначного соответствия между вычислительным процессом, физическим лицом и ресурсом в автоматизированной (информационной) системе¹¹.

Интеллектуализация управления при групповом применении РТС

Организация и обеспечение группового взаимодействия является очень важной задачей в современной робототехнике. В настоящее время практически нет общего подхода к проблеме группового управления РТС. Множество исследовательских групп создают свои решения задачи управления группой в своей области, которые, зачастую, не применимы для решения других задач подобного типа.

В настоящее время требуются исследования и разработка методов и алгоритмов автономного управления РТС при их групповом применении в условиях динамической обстановки. Новые методы управления позволяют расширить область применения РТС в составе группы численностью в тысячи и десятки тысяч единиц, однако это требует повышения степени автономности отдельных РТС и интеллектуализации группового управления.

Группой РТС в детерминированных условиях среды может выполняться задача путем задания индивидуальных сценариев (планирования) и контроля выполнения их без применения систем ИИ. При недетерминированных условиях среды сценарий должен корректироваться или формироваться системой управления группой РТС в процессе достижения цели, т. е. требуется оперативное управление (саморегулирование). При этом действия РТС в группе необходимо координировать и синхронизировать в режиме реального времени, что возможно только при достаточной автономности РТС и достаточной самоорганизации системы группового управления. В связи с этим, возникает задача повышения степени интеллектуальности управления группой РТС. Эта задача заключается в формировании системой группового управления оптимальной последовательности действий (сценария) для

всех РТС группы и обеспечении необходимыми информационными ресурсами для достижения поставленной групповой цели. Организация и обеспечение группового управления РТС с учетом возможной кластеризации совокупности РТС и распределения целей для каждого кластера являются приоритетными задачами в исследованиях как зарубежных, так и отечественных ученых. Интерес к решению данной задачи обусловлен перспективностью применения больших групп РТС в различных областях и одновременно сложностью решаемых задач:

1. Распределение целей и заданий между РТС, с учётом характера целей, функциональных возможностей каждого РТС и среды их функционирования;
2. Организация взаимодействия РТС на коммуникационном уровне и координация действий при достижении групповых целей;
3. Реализация децентрализованного управления на основе распределенной системы сбора и обработки данных с искусственным интеллектом.

Основными методами решения задач группового управления являются централизованное групповое управление РТС и децентрализованное групповое управление.

Централизованное управление группой РТС может реализовываться двумя способами: единоначальное, исходящее от лица единого РТС-командира (ведущего всей группы), управляемого оператором группы РТС через мобильный терминал и иерархическое.

Единоначальное управление характеризуется наличием в группе РТС-командира или центрального устройства управления РТС, на которые возлагаются задачи планирования и оперативного управления всей группой. Преимуществом единоначального управления является простота её организации и алгоритмизации. К недостаткам следует отнести длительное время принятия решения из-за выполнения задачи оптимизации всех членов группы РТС для достижения групповой цели, а также низкую живучесть системы управления [9].

Иерархическое управление предполагает наличие центрального пункта управления и РТС-лидеров, которые управляют небольшим количеством РТС в группе (кластером). При этом по сравнению с единоначальным управлением сложность задачи существенно ниже, чем решаемой отдельным РТС-лидером или центральным пунктом управления, в то же время, усложнение

¹¹ГОСТ Р 70262.1-2022 «Защита информации. Идентификация и аутентификация. Уровни доверия идентификации»

структуры управления обуславливает необходимость согласования иерархических решений.

Децентрализованное управление РТС также может осуществляться двумя способами: коллективное или стайное (роевое).

Коллективное управление предполагает равнозначность агентов группы, каждый агент вырабатывает свое решение по своему поведению, которое обеспечивает наибольший возможный вклад в решение групповой задачи. При этом агенты обмениваются информацией о своих решениях и действиях друг с другом. Так как каждый агент решает оптимизационную задачу только для себя, задача существенно упрощается и может осуществляться практически в режиме реального времени. Вместе с тем, требуется достаточно высокая степень интеллектуализации агентов, чтобы вырабатывать решение, согласованное с групповой задачей и выбирать оптимальные действия в составе группы РТС. Повышение интеллектуальности требует дополнительных вычислительных и энергетических ресурсов для агентов.

Стайное управление отличается от коллективного тем, что обмен информации между агентами отсутствует и каждый объект свои действия выполняет на основании своей сенсорной информации.

При роевом управлении агенты роя самостоятельно вырабатывают решение о своем поведении на основе сенсорных данных об окружающей среде и данных, полученных от соседних РТС, которые оформляются в виде локальных правил (local rules). Информационный обмен между агентами может осуществляться периодически для дополнения общей карты окружающей среды. Особенности роевой технологии управления являются:

- высокая степень автономности агентов (РТС);
- масштабируемость системы управления;
- преимущественно однородный состав групп агентов (РТС).
- Возможны два варианта реализации технологии роевого управления:
- самоорганизация;
- мультиагентное управление (может быть дистанционным внешним, внутрироевым с назначенным лидером и внутрироевым на основе выбора лидера).

Также возможен комбинированный вариант (смешанная технология управления).

Критерии эффективности группового управления РТК ВН и методы их оценки

Оценка эффективности управления группой РТК ВН включает в себя две составляющие:

- оценка качества планирования группового применения РТК ВН;
- оценка качества оперативного управления группой РТК ВН.

При разработке оптимального метода группового управления РТК применяют два вида критерия эффективности:

Критерий эффективности первого рода — степень достижения цели системы;

Критерий эффективности второго рода — оценка эффективности некоторого заданного пути (варианта) достижения цели [10].

Выбор критерия определяет построение логики работы группы (роя) РТК.

Для оценки качества оперативного управления необходимо классифицировать состояние системы в соответствии со степенью достижения поставленных целей и степенью выполнения принятых решений, например, «норма» и «конфликт». При этом контроль решений может осуществляться по одному или нескольким параметрам состояния. Для больших иерархических систем применяется метод согласования иерархических решений.

Известны три основных метода многопараметрического контроля качества оперативного управления:

1. При однородном множестве параметров $\{K_n\}$ используется скаляр K :

$$K = \sum_{n=1}^N \alpha_n K_n,$$

где α_n — коэффициент важности параметра состояния. В этом случае контроль будет осуществляться по обобщенному параметру K .

2. В отличие от задачи скаляризации $\{K_n\}$ формируется скалярный показатель качества управления по компонентам, являющимся производными от величин $\{K_n\}$ и неоднозначно связанными с ними. Для каждого из параметров состояния определяется функция качества оперативного управления и далее скаляризуется вектор:

$$\{L_n\} = \sum_{n=1}^N \beta_n \cdot L_n,$$

где β_n — коэффициент важности параметра состояния.

3. По каждому из параметров состояния определяются значения сигналов $\{S_n\}$. Допускается,

что состояние опасности наступает, если хотя бы по одному из контролируемых параметров фиксируется «конфликт». Метод сводится к последовательному решению однопараметрических задач контроля.

При высокой степени автоматизации оценок частных показателей появляется возможность при возникновении сигнала «конфликт» автоматически определять те из параметров, по которым не достигаются поставленные цели. Тогда возможно за минимальное время установление причин отклонения управляемого процесса от плана, определение путей ухода от конфликта или корректировки принятого решения и плана использования ресурсов системы.

Проблемы группового управления РТС СН и подходы к их решению

В работе [11] рассматриваются системы управления (СУ) РТК на примере БПЛА двух вариантов: для больших БПЛА, принципы построения которых соответствуют пилотируемым и малые БПЛА, имеющие иерархическую трехуровневую компоновку: уровень отдельных устройств (нижний); уровень управления полетом с помощью бортовых контроллеров, модулей ввода-вывода сигналов и коммутационного оборудования (средний); уровень диспетчеризации и администрирования БПЛА, обеспечивающий взаимодействие оператора через программный интерфейс с контроллерами среднего уровня (верхний).

Особенности группового управления РТК связаны с взаимодействием РТК между собой, а также обеспечением доступа РТК к групповым информационным ресурсам.

В работе [12] рассматривается программно-коммуникационная инфраструктура взаимодействия мобильных роботов, определены требования для реализации концепции облачной робототехники, ограничивающие применение существующих технологий межмашинного обмена. Авторами разработаны концепция и вариант архитектуры программно-коммуникационной инфраструктуры, обеспечивающей парные взаимодействия роботов и доступ к облачным сервисам и ресурсам. Теоретической базой исследования является теория многоагентных систем, теория коллективного поведения агентов, теория взаимодействия распределенных сущностей в беспроводных сетях с динамической топологией.

Зарубежные исследования методов и способов управления группами РТК ведутся более

десяти лет и нацелены на разработку программной инфраструктуры для управления быстрым развертыванием беспроводной коммуникационной среды, предназначенной для обеспечения связи наземных сенсоров и беспилотных летательных аппаратов в районах, где разрушена или отсутствует коммуникационная среда.

В этой связи развивается научное направление облачной робототехники, основное достоинство которой заключается в предоставлении роботам доступа к облачным сервисам и ресурсам, что позволяет получить следующие преимущества:

1. Перенос трудоемких вычислений на виртуальные машины, упрощение программного обеспечения и энергопотребления робота;
2. Доступ к большому объему данных;
3. Доступ к широкому перечню процедур, расширяющих способности робота и варианты его поведения;
4. Коллективное обучение роботов;
5. Дистанционное обновление процедурных знаний робота.

Предложенная концептуальная структура системы группового управления роботами включает в себя пять уровней:

1. Уровень поддержки командной работы;
2. Уровень сервисной инфраструктуры;
3. Уровень транспортной инфраструктуры;
4. Уровень исполнения внутренних агентов;
5. Уровень физического управления роботом.

В качестве перспективной технологии для решения задач облачной робототехники рассматриваются протоколы *Akka Cluster*, *Akka Distributed Data*.

Ограничения области применения рассмотренной концепции заключаются в необходимости дополнительного учета информационной неопределенности информационного, телекоммуникационного и физического окружения РТК ВН, а конфликтность среды функционирования, требует учета целенаправленных внешних деструктивных воздействий, в том числе через роботов диверсантов, саботирующих выполнение задач в ходе выполнения коллективной задачи.

Особенности РТК ВН при их групповом применении учитываются в подходах и моделях, разрабатываемых в исследованиях В. И. Городецкого, О. Л. Бухвалова, Н. А. Рудианова, А. А. Тачкова, А. А. Максимова, И. Б. Шеремета. Так в работе [13] представлена модель иерархической системы управления группой наземных робототехнических средств с комбинированной

структурой системы управления. В модели учитываются ограничения по быстродействию, количеству управляемых объектов и функциональной гибкости, а также территориальная распределенность РТК. Задачи для отдельных РТК автоматически синтезируются с помощью специального транслятора, преобразующего решение оператора в сеть Петри.

Разработке моделей системы управления РТК в условиях неопределенности посвящены работы Зайцева А. В., Канушкина С. В., Емельянова С. В. Так в работе [14] под неопределенностью понимается ситуация полного или частичного отсутствия информации о вероятности будущих событий. Автором определены следующие виды неопределенности при управлении мобильными РТК: *параметрическая, функциональная, структурная, сигнальная*. Основными факторами, влияющими на появление разброса параметров в системе (параметрической неопределенности), являются неточность проектирования, технологические, эксплуатационные. Функциональная неопределенность математической модели объекта характеризует неизвестные функциональные зависимости координат состояния, регулируемых переменных или сигналов управления.

Применение РТК ВН в составе разнородной группы является приоритетным направлением развития практики и теории управления, а специфика данного направления требует учета неопределенностей, обусловленных не только динамичностью, но и конфликтностью условий функционирования. В связи с этим, актуальной задачей является управление движением в разнородной группе мобильных РТК с обеспечением скрытого и имитозащищенного взаимодействия между ними, а также с оператором. В данном направлении известны научные работы Будко П. А., Жукова Г. А., Диане С. А. К., Исакова А. Ю., Исаковой А. О. Так в работе [15] представлена модель защищенного межмашинного обмена при их коммуникации вне зоны контролируемой территории. В качестве целевой функции защищенности задается минимизация количества ретрансляций радиосигналов между роботами. Разработанные авторами программные средства для планирования траектории движения разнородной группы РТК позволяют получать оптимальные решения для обеспечения скрытности взаимодействия РТК в группе.

Предложенная в работе [16] модель системы управления мобильными РТК различного

назначения отражает структуру типовой СУ РТК, а также зависимость показателей эффективности ее функционирования от параметров, характеризующих облик системы.

Одной из актуальных задач исследования СУ РТК является разработка алгоритмов координации их взаимодействия в группе для достижения максимального значения целевого показателя. Указанная задача исследуется в работе [17]. Авторами предложена методика обоснования структуры распределенной системы управления группой ударных БПЛА и алгоритма координации их взаимодействия при работе в автономном режиме. Для действий группы РТК за пределами контролируемой зоны каналы управления и передачи данных могут быть легко обнаружены, подавлены и перехвачены средствами радиотехнической разведки и радиоэлектронной борьбы. Применение децентрализованной структуры СУ РТК позволяет обеспечить скрытность и устойчивость управления группой РТК. В работе рассматривается сценарий преодоления группой РТК зоны препятствий и ее самоорганизация для выполнения групповой задачи за пределами контролируемой зоны.

В статье [18] предложена методика оценки качества группового взаимодействия РТК в условиях изменяющейся обстановки на основе вероятностно-временных характеристик. Оптимальность управления группами РТК для противодействия противнику определяется степенью обоснованности принимаемых решений на их боевое применение.

В работе [19] представлена обобщенная модель роя РТК как системы искусственного интеллекта. Модель отражает основные характеристики группового движения и информационного взаимодействия РТК в группе, которые определяют необходимые условия формирования управления группой РТК при их роевом применении. В качестве основы для реализации роевой структуры РТК рассматривается технология мультиагентных систем. Характерной особенностью мультиагентных систем является их способность к коллективному поведению с целью решения общей задачи.

Проблеме организации, поддержки топологии и связности в роях БПЛА при отсутствии сигналов глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS) и внешней инфраструктуры посвящены работы А. А. Гайдамака и К. Е. Самуйлова. В работе [20] предложен

алгоритм самоорганизации роя БПЛА с использованием виртуальных координат для замены географических координат при отсутствии внешнего позиционирования, а также для обеспечения следующих возможностей: связь «каждый с каждым»; выбор кратчайшего пути в логической сети, близкого к физической топологии; поддержка выхода/присоединения узлов сети и их мобильности. Авторы решают оптимизационную задачу по минимизации накладных расходов на распространение информации по всей сети при определении своих виртуальных координат в составе группы БПЛА.

Для обеспечения управления плотными роями БПЛА может потребоваться использование более качественных устройств технологий беспроводной связи ближнего радиуса действия (адаптеры *Bluetooth*, *ZigBee*, *NFC*, *Z-Wave* и др.). Так, автор статьи [21] по результатам исследований бытовых *Bluetooth*-адаптеров определили, что большинство из них не позволяют корректно получать данные об уровне сигнала от другого устройства, поэтому для этой цели, в особенности для динамических групп БПЛА, необходимы специализированные радиомодули.

Обмен данными в СУ РТК может включать как передачу единичных команд и результатов их выполнения, так и серийную передачу команд. Серийная передача команд позволяет повысить скорость выполнения операций и возможности РТК. Области применения современных РТК расширяются, многие из них требуют «услуги телеприсутствия», т. е. режим управления «от первого лица» (*First Person View (FPV)*). При этом использование серийной передачи команд становится проблематичным, так как снижается эффективность использования сетевых ресурсов из-за ненулевой вероятности ошибки при выполнении серий команд и необходимости их повторения. В работе [22] решается задача оптимизации количества команд в серии, при котором эффективность использования сетевых ресурсов максимальна. Получаемый выигрыш по эффективности равноценен выигрышу по времени доставки команд. Уменьшение времени доставки данных происходит за счет уменьшения доли непроизводительной нагрузки на сеть связи.

Особенности современного этапа развития систем управления РТК ВН

Исследованию современных проблем управления РТК в условиях информационно-технических воздействий противника посвящены много-

численные работы С. И. Макаренко. Он отмечает, что эффективные технологические решения для автоматизированных систем управления БПЛА, направленные на обход зон функционального поражения и радиоэлектронного подавления, в настоящее время отсутствуют, в то время как именно пространственная маневренность и скрытность БПЛА, должна быть положена в основу их гибкого боевого применения, а живучесть БПЛА должна достигаться в числе прочего и маршрутным маневром с целью обхода зон заведомого тактического преимущества противника. Разработана методика [23] повышения устойчивости управления БПЛА на основе выбора маршрута полета с учетом фактора потенциальной потери БПЛА при применении противником средств функционального поражения и радиоэлектронного подавления. Смещение акцентов в типе используемого оружия в ходе специальной военной операции на БПЛА требует соответствующей модификации организационно-штатных структур воинских формирований. Это подтверждается результатами анализа причин возникновения позиционного тупика при ведении современных боевых действий в специальной военной операции [24]. Для преодоления сложившейся ситуации, автором разработан способ, который основан на скрытом накоплении беспилотных летательных аппаратов, их массированном ударе при прорыве оборонительных рубежей с последующим вводом в прорыв штурмовых групп, состоящих из живой силы и бронетехники. Предложен авторский замысел по техническому облику системы автоматизированного управления и организации связи для управления большим числом беспилотных летательных аппаратов. Автором показаны следующие недостатки систем управления РТС:

- управление осуществляется по индивидуальному принципу ручным способом (т.е. дистанционное управление механизмом);
- возможности автономных действий БПЛА ограничены программируемым методом по заданному маршруту;
- возможности групповых действий ограничены взаимодействием между операторами отдельных БПЛА;
- возможности групповых действий БПЛА под управлением одного оператора ограничены эстафетным способом (поочередным переключением пульта оператора от одного БПЛА к другому);
- каналы управления и видеоканалы специализированных БПЛА не унифицированы;

- каналы управления и видеоканалы коммерческих БПЛА в основном стандартизованы в соответствии с технологиями беспроводной передачи данных и цифровой подвижной радиосвязи;

Для эффективного массового использования БПЛА в ходе СВО предложена автоматизированная система управления (АСУ) БПЛА. Предложенный состав программно-аппаратных комплексов (ПАК) предназначен для решения следующих задач:

- управления БПЛА;
- освещения обстановки;
- мониторинга радиоэлектронной обстановки и РЭБ;
- организации радиосвязи с БПЛА;
- средства информационной интеграции со средствами связи и управления других воинских формирований.

Для обеспечения защиты информационного обмена в системе управления БПЛА автором определены следующие принципы:

- унификация средств криптографической защиты каналов управления и видеоканалов, исключение избыточности требований к стойкости применяемых средств криптографической защиты информации;
- сеть радиосвязи системы управления БПЛА должна предусматривать встроенные средства идентификации БПЛА «свой – чужой» и обеспечение защиты от «чужих» БПЛА;

- обеспечение имитозащиты от несанкционированных команд управления [24].

Формирование единого защищенного информационного пространства для управления робототехническими системами

Проведенный анализ показал, что для эффективного массового применения РТК ВН, развития и унификации методов и способов управления распределенной в пространстве робототехнической системой в режиме реального времени необходима единая концепция управления робототехнической системой (рис. 7).

В настоящее время для управления распределенной робототехнической системой требуется интеграция информационно-управляющих систем РТК и информационно-телекоммуникационной системы военного назначения. Проблемная ситуация заключается в необходимости обеспечения информационно-управляющих систем РТК требуемыми информационными ресурсами для выполнения задач с одновременной защитой единого информационного пространства.

Необходимыми условиями информатизации управления РТК при этом являются:

- интероперабельность информационно-управляющих систем РТК и возможность масштабирования;
- реализация автоматической обратной связи для обеспечения регламента выполнения задач РТК;
- защищенность ИУС РТК от информационно-технических воздействий противника.

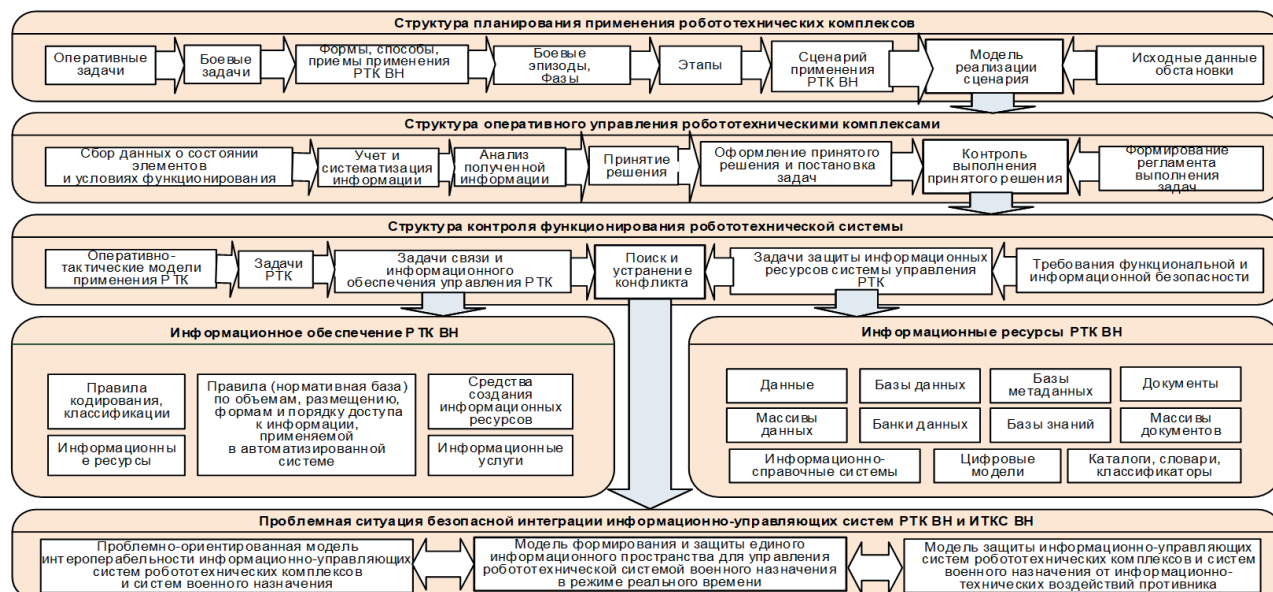


Рис. 7. Обобщенная структурная схема планирования и оперативного управления РТК в составе робототехнической системы

Известна разработка специального программного обеспечения для управления РТК в распределенной сетевой структуре [25]. Авторами предложено решение коммуникационной задачи с целью построения единого информационного пространства для управления распределенной роботизированной системой на основе использования модели асинхронной передачи сообщений между программными модулями через агенты и групповую коммуникацию. В разработанной модели используется метод информационного обмена программных модулей через информационные потоки. Для информационного потока задают следующие параметры: перечень и расположение в сети взаимодействующих программных модулей; ограничения на максимальный поток, размер сообщений и их количество; количество хранимых в памяти агента и продолжительность; приоритеты обработки и трансляции данных информационного потока. Модель реализована в специальном программном обеспечении для операционной системы реального времени. Однако, разработанное решение не может использоваться в системах группового управления РТК, так как предполагает статическую маршрутизацию информационных потоков.

Таким образом, достаточными условиями информатизации управления распределенной робототехнической системой являются: коммутация сообщений с фрагментацией, управление формированием информационных потоков, а также их динамическая маршрутизация.

В связи с этим, интерес представляют разработки графодинамических параллельных асинхронных моделей обработки информации, имеющих следующие особенности [26]:

- представление обрабатываемой информации в виде нелинейных конструкций и структурная перестраиваемость коммуникационной системы между элементами памяти в ходе переработки хранимых в этой памяти информации;
- использование ассоциативного метода доступа к фрагментам обрабатываемой информации;
- параллельная обработка данных;
- асинхронность.

Проблема прикладных разработок систем графодинамической асинхронной обработки информации заключается в отсутствии целостной теории графодинамики, позволяющей формализовать взаимосвязь свойств движущихся объектов в физическом и информационном пространствах.

Исследования в данной предметной области проведены А.А. Амбарцумяном с применением аппарата Сетей Петри [27]. В результате исследований сформирована теоретическая база проектирования супервизорного управления множеством автономных компонент дискретно-событийной системы. Теоретический базис используется для формирования алгоритмов управления материальными потоками в технологической структуре.

Применительно к проектированию систем управления группами РТК разработанный теоретический базис применен и усовершенствован А. В. Козовым [28]. Автором разработана модель мобильного робота, спецификация поведения, а также супервизор и вычислительный граф алгоритма работы системы группового управления. Важным результатом является формализация процедуры динамической реконфигурации системы управления при добавлении нового робота в группу. В дополнении к известному методу синтеза супервизора авторами предложено расширение, позволяющее формализовать управление независимыми действиями роботов при выполнении группового действия и, при этом, не увеличивать вычислительную сложность процедуры синтеза [29].

Вместе с тем, требуется разработка научно-методического обеспечения для выполнения необходимых условий коммуникабельности РТК и достаточных условий информатизации группового управления РТК ВН при выполнении боевых, специальных и обеспечивающих задач в условиях информационно-технических воздействий противника.

Заключение

Групповая робототехника является одной из ключевых областей развития робототехнических средств, комплексов и систем военного назначения. Это связано с тем, что для широкого перечня задач применение группы относительно простых роботов является гораздо более эффективно по сравнению с использованием одного крупного многоцелевого устройства. Современное развитие вычислительной техники и систем связи открывает широкие возможности для построения таких систем в микро и нано-размерном исполнении.

В условиях стремительного развития военных технологий и внедрения искусственного интеллекта в системы вооружения актуальна проблема сохранения фундаментального принципа международного права: человек несет полную ответственность за применение любого оружия,

независимо от его технического оснащения. Решение этой проблемы тесно связано с задачей обеспечения доверия к системам с ИИ.

Для обеспечения информационного обмена в перспективной робототехнической системе с роевым интеллектом требуются специализированные протоколы обмена, позволяющие реализовывать различные сетевые топологии, в том числе ячеистую (mesh) и допускают динамическое изменение количества и состояния узлов, имеют низкое энергопотребление и специализированы для подобных задач в условиях информационно-технических воздействий.

В большинстве рассмотренных научных работ по проблематике управления группами РТК

исследуются задачи организации и планирования использования телекоммуникационных ресурсов, вычислительных ресурсов, информационных ресурсов системы связи и автоматизации управления, а задачи оперативного управления (регулирования в процессе выполнения плана) и защиты информационных ресурсов исследованы фрагментарно.

Представленные концепция управления и обобщенная схема оперативного управления может использоваться в качестве основы для формализации условий обеспеченности информационными и телекоммуникационными ресурсами для управляемости робототехнической системы в режиме реального времени.

Литература

1. Пшихопов В. Х., Гонтарь Д. Н., Мартыанов О. В. Концептуальные подходы к формированию сценариев боевого применения групп робототехнических комплексов // Системы управления, связи и безопасности. № 3. 2022. С. 138–182. DOI: 10.24412/2410-9916-2022-3-138-182
2. Алгоритмы эволюционной оптимизации. Д. Саймон. ООО «Издательство ДМК Пресс» 2020 г. 940 с.
3. Леонков А. П. Дроны начинают и выигрывают // Арсенал отечества. №1. 2019. С.30–35.
4. Луазан А. Г. Перспективы развития мини-БЛА и способы борьбы с ними. Часть I // Воздушно-космическая сфера. №4.2020. С. 58–65.
5. Луазан А.Г. Перспективы развития мини-БЛА и способы борьбы с ними. Часть II // Воздушно-космическая сфера. № 1. 2021. С. 98–105.
6. Буренок В.М. Технология управления роем как одно из направлений развития вооружения // Вооружение и экономика. № 4(37). 2016 г. С. 7–11.
7. Карцхия А. А., Макаренко Г. И. Правовые горизонты технологий искусственного интеллекта: национальный и международный аспект // Вопросы кибербезопасности. 2024. № 1. С. 2—14. DOI: 10/21681/2311-3456-2024-1-2-14.
8. Карцхия А. А., Макаренко Г. И. Правовые проблемы применения искусственного интеллекта в России // Правовая информатика 2024. № 1. С. 4–19. DOI: 10.21681/1994-1404-2024-1-4-19.
9. Иванов М. С., Афонин И. Е., Макаренко С. И. Повышение устойчивости автоматизированной системы управления комплекса с беспилотными летательными аппаратами в условиях воздействия средств физического поражения и радиоэлектронного подавления // Системы управления, связи и безопасности. № 2. 2022. С.92-134.
10. Иванов Д. Я. Использование принципов роевого интеллекта для управления целенаправленным поведением массово применяемых микророботов в экстремальных условиях // Известия высших учебных заведений. № 9. 2011. С. 70–78.
11. Макаренко С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам. Монография. – СПб.: Научное издание, 2020. – 204 с.
12. Городецкий В. И., Бухвалов О. Л. Модель и архитектура инфраструктуры системы группового управления роботами // Робототехника и техническая кибернетика №1(14). 2017 г. С. 33–44.
13. Алексеев В. А., Яковлев Д. С., Тачков А. А. Моделирование иерархической системы управления группой наземных робототехнических средств // Инженерный журнал. № 4. 2018. DOI: 10.18698/2308-6033-2018-4-1754.
14. Канушкин С. В. Управление робототехническими комплексами охранного мониторинга в условиях неопределенности // Правовая информатика. № 2. 2019 г. С. 40–48.
15. Диане С. А. К., Исакова А. Ю., Исаковой А. О. Алгоритм сетецентрического управления движением группы мобильных роботов. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. № 10(1). 2022. С.24–37.
16. Березкин А. А., Вивчарь Р. М., Киричек Р. В. Модель системы управления мобильными роботизированными комплексами различного назначения // Электросвязь № 08. 2023 г. С.12–18.
17. Халимов Н. Р., Мефедов А. В. Распределенная сетецентрическая система управления группой ударных беспилотных летательных аппаратов // Системы управления, связи и безопасности. № 3. 2019. С. 1–13.
18. Свиридов В. В. Методика оценки качества группового взаимодействия робототехнических комплексов в условиях изменяемой фоноцелевой обстановки / Труды МАИ. № 121. 2021. DOI: 10.34759/trd-2021-121-22.

19. Ступницкий М. М., Мырова Л. О., Королев П. С. Рой БПЛА — новая парадигма применения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Электросвязь № 04. 2023 г. С. 2–10.
20. Гайдомака А. А., Самуйлов К. Е. Организация топологии в роях БПЛА в условиях отсутствия сигнала GNSS // Электросвязь № 9. 2023. С. 17–22.
21. Новокрещенов Л. А. Разработка распределенной системы управления движением группы мобильных роботов: Выпускная квалификационная работа бакалавра. ФГАОУВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет». – Новосибирск. 2018. – 25 с.
22. Горбачева Л. С. Метод оптимального использования сетевых ресурсов для робота-манипулятора // Электросвязь № 05. 2023. С. 21–26.
23. Бирюков П. А., Тимохин А. А., Макаренко С. И. Бригады сухопутных войск, вооруженные беспилотными летательными аппаратами: обоснование создания, предложения по их структуре, способам боевого применения и техническому обеспечению с учетом опыта специальной военной операции на Украине // Системы управления, связи и безопасности. № 2. 2024. С. 43–70. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-2-043-070.
24. Макаренко С. И. Преодоление позиционного тупика в современных боевых действиях за счет массированного применения беспилотных летательных аппаратов // Воздушно-космические силы. Теория и практика. № 32. 2024. С. 25–42.
25. Петров В. Ф., Симонов С. Б., Терентьев А. И. и др. Сетевая структура обработки информации в распределенных системах управления наземными робототехническими комплексами // Известия вузов. Электроника. № 4(23). Т.13. 2018. С. 389–398.
26. Затуливетер Ю. С., Фищенко Е. А. Проблемы программируемости, безопасности и надежности распределенных вычислений и сетецентрического управления. Ч.1. Анализ проблематики. Пробл., управл., вып. 3. 2016 г. С. 49–57.
27. Амбарцумян А. А. Сетецентрическое управление на сетях Петри в структурированной дискретно-событийной системе // Управление большими системами. «Сетевые модели в управлении». Специальный выпуск 30.1. 2010. С. 506–535.
28. Козов А. В. Динамическая реконфигурация системы управления мобильными роботами при выполнении группового действия // Труды Международной научно-практической конференции «Экстремальная робототехника». г. Санкт-Петербург. 2020. С. 78–83.
29. Козов А. В., Мельникова М. В. Применение методов синтеза супервизора при проектировании дискретно-событийной системы группового управления мобильными роботами // Робототехника и техническая кибернетика. 11(2). 2023. С. 110–117.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR GROUP CONTROL OF MILITARY ROBOTIC COMPLEXES

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

Keywords: robotic means, complexes, group application, control, methods and methods of control, swarm intelligence, informatization of control.

Abstract

The purpose of the work is to study the technologies of group control of robotic complexes (RC), problems and ways to solve the problems of controlling military robotic complexes (MRC) as part of a robotic system.

Research method: system approach, historical approach, analysis method to determine the trend in the development of MRC management technologies.

Results of the study: the results of the analysis of the main trends in the development of MRC management technologies and the need for a scientific search for appropriate technologies to ensure stable communication for MRC group management systems are presented.

The features of the use of the MRC based on the results of the analysis of modern military conflicts and the shortcomings in the theory and practice of MRC management, which cause the symptoms of the problem, are presented. The currently known theoretical models and scenarios for the use and group control of the MRC are not sufficiently adequate to the new forms and methods of using troops. By the method of analysis, the main trends in the development of group management technologies are determined. The main shortcomings in the practice of using the MRC

¹ Yuri K. Khudainazarov, Ph.D. of Technical Sciences, 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

² Andrey P. Sokolov, Associate of the Military Academy of Communications named after S. M. Budyonny. Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E-mail: solap@mail.ru

³ Vladimir E. Ermolaev, Associate of the Department of Security of special purpose info-communication systems of the Military Academy of Communications named after S. M. Budyonny. Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E-mail: VErmol@ya.ru

and the factors that determine the relevance of the search for new methods and ways of information support and protection of information resources of the MRC group management systems are identified. The necessary and sufficient conditions for the communication skills of the MRC and the informatization of the control of the robotic system have been formed.

Scientific novelty: consists in the generalization of the known approaches to solving the problems of group management of the MRC, the formation of scientific tasks for the study of appropriate communication and information security technologies, taking into account the conditions and specifics of the tasks solved with the help of the MRC, the formation of a general concept for providing information and telecommunication resources to the robotic system.

References

1. Pshihopov V.H., Gontar' D.N., Mart'janov O.V. Konceptual'nye podhody k formirovaniyu scenariy boevogo primeneniya grupp robototekhnicheskikh kompleksov // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. № 3. 2022. S. 138–182. DOI: 10.24412/2410-9916-2022-3-138-182
2. Algoritmy jevoljucionnoj optimizacii. D. Sajmon. ООО «Izdatel'stvo DMK Press». 2020. 940 s.
3. Leonkov A.P. Drony nachinajut i vyigryvajut // Arsenal otechestva. №1. 2019. S.30-35.
4. Luazan A.G. Perspektivy razvitiya mini-BLA i sposoby bor'by s nimi. Chast' I // Vozdushno-kosmicheskaja sfera. №4.2020. S. 58–65.
5. Luazan A.G. Perspektivy razvitiya mini-BLA i sposoby bor'by s nimi. Chast' II // Vozdushno-kosmicheskaja sfera. №1.2021. S. 98–105.
6. Burenok V.M. Tehnologija upravleniya roem kak odno iz napravlenij razvitiya vooruzhenija // Vooruzhenie i jekonomika. №4(37). 2016 g. S. 7–11.
7. Karchija A.A., Makarenko G.I. Pravovye gorizonty tehnologij iskusstvennogo intellekta: nacional'nyj i mezhdunarodnyj aspekt // Voprosy kiberbezopasnosti. 2024. № 1. S. 2—14. DOI: 10/21681/2311-3456-2024-1-2-14.
8. Karchija A.A., Makarenko G.I. Pravovye problemy primeneniya iskusstvennogo intellekta v Rossii // Pravovaja informatika 2024. № 1. S. 4–19. DOI: 10.21681/1994-1404-2024-1-4-19.
9. Ivanov M.S., Afonin I.E., Makarenko S.I. Povyshenie ustojchivosti avtomatizirovannoj sistemy upravlenija kompleksa s bespilotnymi letatel'nymi apparatami v uslovijah vozdejstviya sredstv fizicheskogo porazhenija i radiojelektronnogo podavlenija // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. №2. 2022. S.92-134.
10. Ivanov D.Ja. Ispolzovanie principov roevogo intellekta dlja upravlenija celenapravlennym povedeniem massovo primenjaemykh mikrorobotov v jekstremal'nyh uslovijah // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. №9. 2011. S. 70–78.
11. Makarenko S.I. Protivodejstvie bespilotnym letatel'nyh apparatam. Monografija. – SPb.: Naukoemkie tehnologii, 2020. – 204 s.
12. Gorodeckij V.I., Buhvalov O.L. Model' i arhitektura infrastruktury sistemy gruppovogo upravlenija robotami // Robototekhnika i tehničeskaja kibernetika №1(14). 2017 g. S. 33–44.
13. Alekseev V.A., Jakovlev D.S., Tachkov A.A. Modelirovanie ierarhicheskoj sistemy upravlenija gruppoj nazemnyh robototekhnicheskikh sredstv // Inženernyj zhurnal. №4. 2018. DOI: 10.18698/2308-6033-2018-4-1754.
14. Kanushkin S.V. Upravlenie robototekhnicheskimi kompleksami ohrannogo monitoringa v uslovijah neopredelennosti // Pravovaja informatika. №2 2019 g. S. 40-48.
15. Diane S.A.K., Ishakova A.Ju., Ishakovo A.O. Algoritm setecentricheskogo upravlenija dvizheniem gruppy mobil'nyh robotov. Modelirovanie, optimizacija i informacionnye tehnologii. №10(1). 2022. S.24-37.
16. Berezkin A.A., Vivchar' R.M., Kirichek R.V. Model' sistemy upravlenija mobil'nymi robotizirovannymi kompleksami razlichnogo naznachenija // Jeletrosvjaz' №08. 2023 g. S.12-18.
17. Halimov N.R., Mefedov A.V. Raspredelennaja setecentricheskaja sistema upravlenija gruppoj udarnykh bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. №3. 2019. S. 1-13.
18. Sviridov V.V. Metodika ocenki kachestva gruppovogo vzaimodejstviya robototekhnicheskikh kompleksov v uslovijah izmenjaemoj fonocelovoj obstanovki / Trudy MAI. №121. 2021. DOI: 10.34759/trd-2021-121-22.
19. Stupnickij M.M., Myrova L.O., Korolev P.S. Roj BPLA — novaja paradigma primeneniya malorazmernykh bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Jeletrosvjaz' №04. 2023 g. S.2-10.
20. Gajdomaka A.A., Samujlov K.E. Organizacija topologii v rojah BPLA v uslovijah otsutstvija signala GNSS // Jeletrosvjaz' №9. 2023. S. 17–22.
21. Novokreshhenov L.A. Razrabotka raspredelennoj sistemy upravlenija dvizheniem gruppy mobil'nyh robotov: Vypusknaja kvalifikacionnaja rabota bakalavra. FGAOUVO «Novosibirskij nacional'nyj issledovatel'skij gosudarstvennyj universitet». – Novosibirsk. 2018. — 25 s.
22. Gorbacheva L.S. Metod optimal'nogo ispol'zovaniya setevykh resursov dlja robota-manipuljatora // Jeletrosvjaz' №05. 2023. S.21-26.
23. Birjukov P.A., Timohin A.A., Makarenko S.I. Brigady suhoputnyh vojsk, vooruzhennye bespilotnymi letatel'nymi apparatami: obosnovanie sozdaniya, predlozhenija po ih strukture, sposobam boevogo primeneniya i tehničeskomu obespečeniju s uchetom opyta special'noj voennoj operacii na Ukraine // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. № 2. 2024. S. 43–70. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-2-043-070.

24. Makarenko S.I. Preodolenie pozicionnogo tupika v sovremennyh boevyh dejstvijah za schet massirovannogo primeneniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov // *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teorija i praktika*. № 32. 2024. S. 25–42.
25. Petrov V.F., Simonov S.B., Terent'ev A.I. i dr. Setevaja struktura obrabotki informacii v raspredelennyh sistemah upravlenija nazemnymi robototekhnicheskimi kompleksami // *Izvestija vuzov. Jelektronika*. №4 (23). T.13. 2018. S. 389–398.
26. Zatuliveter Ju.S., Fishhenko E.A. Problemy programmiruemosti, bezopasnosti i nadezhnosti raspredelennyh vychislenij i setecentricheskogo upravlenija. Ch.1. Analiz problematiki. Probl., upravl., vyp.3. 2016 g. S. 49–57.
27. Ambarcumjan A.A. Setecentricheskoe upravlenie na setjah Petri v strukturirovannoj diskretno-sobytijnoj sisteme // *Upravlenie bol'shimi sistemami. «Setevye modeli v upravlenii»*. Special'nyj vypusk 30.1. 2010. S. 506–535.
28. Kozov A.V. Dinamicheskaja rekonfiguracija sistemy upravlenija mobil'nymi robotami pri vypolnenii gruppovogo dejstvija // *Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Jekstremal'naja robototekhnika»*. g. Sankt-Peterburg. 2020. S. 78-83.
29. Kozov A.V., Mel'nikova M.V. Primenenie metodov sinteza supervizora pri proektirovanii diskretno-sobytijnoj sistemy gruppovogo upravlenija mobil'nymi robotami // *Robototekhnika i tehničeskaja kibernetika*. 11(2). 2023. S. 110-117.



ВИЗУАЛЬНЫЕ ОБРАЗЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ВОЗДЕЙСТВИЯ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОТИВОБОРСТВЕ В ВОЕННОЙ СФЕРЕ

Сухинин В.В.¹

DOI:10.21681/3034-4050-2025-3-59-64

Ключевые слова: визуальные образы, информационное противоборство, психологическое воздействие, визуальное мышление, информационное превосходство.

Аннотация

Цель работы — проанализировать роль визуальных образов в информационном противоборстве, выявить основные механизмы их воздействия на массовое и индивидуальное сознание, проследить историческую эволюцию их использования в военных конфликтах, а также рассмотреть современные методы их применения и способы противодействия в условиях цифровой эпохи.

Метод исследования:

в данной статье применён комплексный междисциплинарный подход, сочетающий элементы визуального анализа, историко-сравнительного метода и методов критического дискурсивного анализа. Исследование основано на изучении визуальных материалов (фотографий, видеозаписей, карикатур, плакатов, дипфейков и т.д.), используемых в информационном противоборстве, с целью выявления их функций, приёмов и механизмов воздействия на массовое и индивидуальное сознание.

Результаты исследования: в результате проведенного исследования подтверждена ключевая роль визуальных образов в информационном противоборстве — как в формировании общественного мнения, так и в деморализации противника, мобилизации населения и дезинформации. Проанализированы современные технологии визуального воздействия, включая дипфейки, нейросети, фоторедакторы и социальные медиа, активно используемые в текущих военных конфликтах. Выявлена необходимость системного противодействия визуальной дезинформации, включая развитие критического мышления, обучение техническому анализу и создание оперативных контрматериалов.

Практическая ценность: выработан комплексный подход к анализу визуальных образов как инструмента информационного противоборства — объединяются исторический, политологический и медиавизуальный аспекты, рассматривая визуальные средства не только как форму коммуникации, но и как стратегическое оружие. Введение понятия «визуальный фронт» информационной войны, подчёркивающее значимость борьбы за восприятие образов и символов в массовом сознании. Предложение практических направлений противодействия визуальной дезинформации, что может быть использовано в разработке стратегий информационной безопасности.

Введение

В условиях современного информационного противоборства визуальные образы приобретают особую значимость, как инструмент воздействия на сознание людей. Их роль очень часто становится ключевой для формирования общественного мнения о сторонах, причинах и ходе конфликта, для дезинформации противника, укрепления боевого духа «своих» и, соответственно, деморализации «чужих». Развитие цифровых технологий и социальных медиа значительно усилило влияние визуального контента, позволяя донести его до каждой единицы целевой аудитории, таким образом превратив визуальные образы в ключевой элемент инфор-

мационной войны. Использование фотографий, видеоматериалов и других визуальных средств, как правдивых, но преподнесенных зрителю «в нужном ключе», так и сфабрикованных, частично или полностью искусственно созданных и оперативно распространенных с помощью технологий, позволяет оказывать психологически точное воздействие на массы людей, вызывая у них яркий эмоциональный отклик, формируя в сознании стереотипы и внедряя навязанный «образ врага». В данной статье мы рассматриваем механизмы воздействия визуальных образов на человека, их историческую эволюцию, современные методы их использования, а также способы защиты от них.

¹Сухинин Вячеслав Викторович, доцент Военного учебного центра при Южном федеральном университете, г. Таганрог, Россия. E-mail: Slavec1405@mail.ru

1. Визуальные образы в информационном противоборстве: цели и функции

Современная война далеко выходит за пределы традиционного поля боя, привычного человечеству. Значительная ее часть успешно переместилась в информационные сферы, появилось понятие «гибридной» войны». Так, например, в 2012 году в США была подписана «Основополагающая концепция ведения совместных операций», где важнейшая роль отводится именно силам информационного противоборства, на которые возложено решение задач «по нарушению информационных связей между органами военного и государственного управления, уменьшению возможностей по добыванию достоверной информации с помощью космических средств разведки, систем предупреждения о ракетном нападении и контроля космического пространства, по воздействию на массовое и индивидуальное сознание лиц, принимающих решения, для снижения возможностей боевого потенциала ВС РФ» [1]. Таким образом, мы видим, насыщение информационных потоков стало одной из важнейших стратегий, а визуальные образы - мощным оружием, способным не только управлять эмоциями «обычных» людей, но и влиять на принятие решений, как военного командования, так и политического руководства страны. В современном мире визуальная информация становится во главу угла во всех сферах, не только военной. Мы живем в мире, где царит эпоха визуального мышления, визуальных образов, визуального контента. Роль визуальности в современном глобализованном обществе невозможно недооценить. Отсутствие языковых барьеров в области визуальности, увеличение скорости передачи визуальных текстов и развитие электронных и медийных средств коммуникации стало предпосылкой триумфа «визуального» над «вербальным». Примерно, 80 % людей воспринимают и организуют свой опыт и мышление, в первую очередь, с помощью зрительных образов, которые запускают сразу нескольких информационных потоков, подключают для создания «целой картины» воображение, фантазию, социальную память [2]. Поэтому именно визуальные образы завоевывают все более широкие сферы, не ограничиваясь только мирными целями. Они становятся эффективным методом ведения напряженной информационной борьбы. В военном противостоянии визуальные образы выполняют сразу несколько функций. Перечислим сейчас основные из них.

Пропагандистская функция: предполагает формирование общественного мнения путем создания героических образов, которые нужны для

поддержки национального духа и укрепления боевого настроения «защитников». Но одновременно, происходит и дискредитация противника через создание противоположных - демонизирующих образов, для чего используются карикатуры и мемы, искаженные фото- и видеоматериалы, задевающий за живое, а порой и откровенно провокационный контент. Ярким примером может служить политическая сатира, характерная для журнала «Шарли Эбдо». «Сложность карикатурного образа обусловлена законами острашения: пародийное, сатирическое изображение представляет собой измененную форму исходного образа, в которой сигнальные аспекты, необходимые для идентификации этого объекта, сохранены, но изменены взаимоотношения ключевых опор когнитивной карты его восприятия» [3]. Политическая и/или религиозная карикатура, в данном случае, является тем же оружием дискредитации противника путем создания негативного образа его лидеров, как политических, так и духовных, а в итоге – от единичного к общему - отрицательного образа целой страны. С другой стороны, путем пропаганды создается позитивный имидж «своего» государства, как на международной арене, так и внутри.

Следующая функция психологическая: визуальные образы способны влиять на эмоции людей, вызывая страх, ненависть, сострадание, гордость... Качество восприятия визуальных потоков напрямую зависит от индивидуальных психофизиологических, социокультурных особенностей, создатели контента обращают внимание на возраст, социальные, профессиональные качества целевой аудитории привлекая элементы (яркие контрастные цвета, геометрические формы, анимационные эффекты, прямые культурные визуальные ассоциации и пр.) для того, чтобы усилить эффект [4]. Визуальный поток активно используется для деморализации войск противника, например, через распространение кадров их военного поражения, массовых тяжелых военных потерь; для усиления чувства угрозы у населения в целях оправдания агрессивных действий собственной армии и побуждения к милитаризации общества путем внедрения в его коллективное сознание старательно вылепленного «образа врага». Основные механизмы психологического воздействия включают в себя такие инструменты, как апелляция к эмоциям (использование шокирующих, трагических, героических сцен), эффект повторения (многократное воспроизведение визуальных образов для закрепления их в памяти населения), стереотипизация (формирование определенных образов через визуальные символы).

Дезинформационную функцию визуальных образов в военном противоборстве представляет распространение ложных или манипулятивных изображений для введения общества в заблуждение. Здесь поле деятельности для создателей визуальных потоков – при широчайших современных возможностях – чрезвычайно обширно и ограничивается лишь их фантазией. Наиболее часто используется подтасовка или фабрикация фото и видео (в ход идет использование графического редактора, постановочных кадров и пр.), манипуляция контекстом, то есть представление реальных событий в искаженном свете, создание дипфейков и другие возможности нейросетей.

Наконец, мобилизационная функция подразумевает под собой стимулирование у народа патриотических чувств, укрепление мотивации как военных, так и гражданского населения, для чего широко используются бесприкрытые, зарекомендовавшие себя с течением времени символы, такие как национальные флаги, визуальные образы национальных религий, изображение исторических героических и/или победных событий, военачальников, государственных лидеров, имеющих статус непобедимых героев, других уважаемых исторических лиц. Чувство причастности к указанным образам помогает поднять боевой дух современных защитников и усиливает поддержку гражданского населения, подавая ему «благородный пример».

2. Исторические примеры использования визуальных образов в военных конфликтах

Конечно, раньше такого разнообразия передачи визуальных образов не было. Одним из первых доступных средств эффективного воздействия на широкие массы была уже упомянутая политическая сатира. Традиционно она носила негативный характер, поскольку была адресована и направлена на чужого, врага. Самые яркие образцы политической карикатуры появились в периоды Первой и Второй мировых войн в средствах массовой информации стран-участниц, где использовался весь стандартный набор «пропаганды вражды»: на первый план выводились отрицательные этнические стереотипы, гиперболизировались негативные черты национального характера, представители культуры противоположной вражеской стороны демонизировались и изображались, как варвары. В ход шел весь доступный арсенал художественных средств, таких, как гиперболизация, перемещение верха и низа, пародия [5]. Первая мировая война явилась важной вехой в развитии новых возможностей визуальной пропаганды. Помимо печатной продукции – открыток, плакатов, листовок, журнальной гра-

фики, особую роль в освещении боевых действий на фронтах получают кинематограф и кинохроника, репортажная фотография, картографические карикатуры, достигшие пика популярности в 1914–1915 гг. Так, спустя чуть более месяца с начала боевых операций издательство «Johnson, Riddle & Co» в Лондоне публикует сатирическую карту «Слушай! Слушай! Собаки лают!», на которой изображено текущее положение на военных фронтах. Страны Антанты и Центральные державы изображены в виде грызущихся собак различных пород, а Россия – в виде канонического медведя [6]. Зооморфные образы, отличающиеся выразительностью присущих животным характерных повадок, очень часто используются создателями визуального оружия информационной войны, но не всегда приносят нужный эффект. Во время Русско-японской войны 1904–1905 гг. отечественные СМИ нередко «рисовали» японцев «макаками», представляя последних, как отсталую нацию. Подобные образы порождали в военных и гражданских кругах соответствующее отношение к этой нации, как к низшей, побуждая не слишком-то опасаться ее [7]. Все мы знаем к какому итогу такое обесценивание врага привело.

Во время Второй мировой войны и Великой Отечественной использование визуальных образов использовалось еще более активно. Стороны применяли плакаты, агитационные фильмы, карикатуры. Многие видели ставший символом мобилизации населения в Советском Союзе плакат с собирательным образом матери – «Родина-мать зовет!», созданный художником Ираклием Тоидзе в самые первые сутки войны. В дальнейшем часто использовалось обращение к символике, ассоциировавшейся со славным историческим прошлым России, историческими победами великих полководцев (таких, как Александр Невский, Суворов, Нахимов), что в целом, воспринималось обществом вполне позитивно, однако некоторой его частью – «твердолобыми большевиками» – ощущалось как сдача идейных позиций. В целом же советская патриотическая пропаганда, построенная в том числе на визуальной символике, была сложной комбинацией большевистских и дореволюционных культурных кодов и явилась в итоге мощным оружием, позволив отстоять страну от врага [8]. В США в этом отношении консолидаторам общества было проще – они использовали образ Дяди Сэма с призывом «I Want You for U. S. Army» («Я хочу, чтобы ты служил в армии США»). А во время периода Холодной войны, продолжавшейся, по сути, на протяжении очень длительного периода времени (1947–1991 гг.), когда на арену вышло противостояние двух противоположных

по устройству супердержав – СССР и США, важнейшими визуальными инструментами идеологического противоборства стали телевидение и кинематограф. Американские фильмы и передачи часто изображали СССР как агрессивную тоталитарную империю, угрожающую демократическому свободному миру, эксплуатировали страхи населения перед ядерной войной и экспансией в мире коммунистической пропаганды. В Голливуде появились фильмы о советских агентах, таких, например, как в «Красной угрозе» (1949 г.) или в сюжетах о Джеймсе Бонде, где советские персонажи сплошь играли роли злодеев. Телевидение США активно использовалось для демонстрации превосходства американского образа жизни, показывая большие комфортные дома и полные магазины, свободу слова и выезда за границу, контрастирующие с жизнью и цензурой в СССР. В свою очередь, и советский кинематограф не отставал, рисуя Запад, как мир агрессивного и несправедливого диктата капитализма. Телевидение в СССР показывало трудности жизни в США, расовую дискриминацию, протесты против войны во Вьетнаме, безработицу и уличную преступность, в свою очередь, подчеркивая яркий контраст. Визуальные образы времен Холодной войны стали фактором, повлиявшим на то, как миллионы людей – с обеих сторон – стали воспринимать политическую реальность, и в конечном итоге, «сделали свое дело» в ослаблении идеологического влияния СССР, частично обусловив его дальнейший распад.

Современные военные конфликты и цифровая эпоха

С развитием интернета визуальные образы стали распространяться по миру мгновенно. Войны в Ираке, Сирии, специальная военная операция на Украине всю демонстрируют, как фото- и видеоматериалы эффективно используются для ведения информационной войны. В ход идут как известные методы, например, «старые добрые» постановочные кадры, так и последние разработки современных ученых, позволяющие создавать разнообразие дипфейков, широко используя искусственный интеллект. Главной целью информационного противоборства в военной сфере, по мнению генерала-майора в отставке Х. И. Сайфетдинова, является завоевание и удержание информационного превосходства над вооруженными силами противника и создание благоприятных условий для подготовки и применения своих Вооруженных Сил. Главным принципом достижения цели является комплексное воздействие сил и средств информационного противоборства по объектам противника в тес-

ном сочетании и взаимодействии с действиями войск [1]. И действительно, что касается визуальных методов информационной борьбы, тот тут в ход идет все: фоторедакторы и монтаж, позволяющие изменять реальность, создавая нужное впечатление; дипфейки и искусственный интеллект, способные генерировать реалистичные, но полностью фальшивые изображения и видео; социальные сети, ускоряющие распространение контента, делая его доступным для неограниченного количества лиц, в том числе, целенаправленные кампании в социальных сетях; мемы и инфографика – простые, но эффективные способы передачи идеологических эмоциональных посланий; использование алгоритмов персонализированной дезинформации, позволяющих адаптировать визуальные образы под конкретные группы населения как своего государства, так и государства-врага. К сожалению, вопросам информационного противоборства наше военное командование долгое время уделяло недостаточно своего внимания [1]. Любая война – это противостояние двух (как минимум) версий событий. То, что при освещении спецоперации в западных СМИ с самого начала возобладали именно украинский нарратив, обусловлено очень хорошо подготовленной «почвой», а также профессиональным подходом к информационному противостоянию с ее первых минут. Так, к примеру, только во французских средствах массовой информации в течение года с конца февраля 2022-го до конца февраля 2023-го украинский конфликт был упомянут 2 296 325 раз. То есть в среднем это более четырех материалов в минуту. И практически во всех абсолютно доминирует именно украинское изложение событий, при котором специальная военная операция представлена беспричинной агрессией, целью которой является захват Украины и последующее завоевание европейских земель [9]. В современных условиях возникновения конфликтов крайне важно серьезное отношение к подобной угрозе, умение противостоять иррегулярным атакам и наращивание сил в информационной войне. На Западе в последние несколько лет подобные стратегии называют популярным термином «гибридные войны». В российской военной доктрине эта тема специально не разрабатывалась, но тема ненасильственной смены власти и широкого применения невоенных методов противоборства имеет традиции. Например, в идейном наследии Е. Э. Месснера, полковника Русской императорской армии и профессора военных наук, есть такие слова: «В прежних войнах важным почиталось завоевание территории. Впредь важнейшим будет почитаться завоевание душ во враждующем государстве. В будущей вой-

не воевать будут не на линии [фронта], а на всей поверхности территорий обоих противников, потому что позади окружного фронта возникнут фронты политический, социальный, экономический; воевать будут не на двухмерной поверхности, как встарь, не в трехмерном пространстве, как было с момента зарождения военной авиации, а в четырехмерном, где психика воюющих народов является четвертым измерением» [10].

Сегодня души людей завоевываются с помощью мощных информационных (в большей степени, визуальных потоков), и чтобы нейтрализовать их влияние, на государственном уровне разрабатываются стратегии, направленные на то, чтобы обучить население, как военное, так и гражданское, критическому восприятию

полученной информации, техническому анализу, позволяющему выявить фальсификацию или дипфейк. Важнейшим методом нейтрализации влияния того или иного визуального фейка является оперативное реагирование на него, а именно распространение контрматериалов, опровергающих враждебную пропаганду, которую данный образ несет. В эпоху цифровых технологий роль информационных визуальных потоков возрастает по мере развития этих технологий все больше и больше, соответственно требуя непрерывного совершенствования методов защиты и противодействия им. Страны, которые эффективно используют визуальные технологии, получают преимущество в информационной войне.

Литература

1. Сайфетдинов Х. И. «Информационное противоборство в военной сфере» // Военная мысль. 2014. № 7. С. 38–41.
2. Муромцева М. Ю. Визуальные коммуникации в современном информационном обществе // Культура и образование: научно-информационный журнал вузов культуры и искусств. 2023. № 3 (50). С. 46–52.
3. Смирнова У. В. Противостояние двух сознаний на примере религиозной карикатуры журнала Шарли Эбдо // Всероссийская конференция по когнитивной науке КИСЭ-2017: материалы Всероссийской конференции (Казань, 30 октября – 3 ноября 2017 г.). – Казань: издание Казанского ун-та, 2017. – 566 с.
4. Болбат О. Б., Шкоркина Т. Б. Психология визуальных коммуникаций // Образование и проблемы развития общества. 2024. № 4 (29). С. 13–17.
5. Зазаева Н. Б. «Пропаганда как явление политической культуры в информационном обществе» // Вестник Поволжского института управления, 2015. № 5 (50).
6. Чижикова А. М. Визуальный образ врага и союзника в сатирических картах стран Антанты 1914–1917 гг. // Гуманитарный акцент. 2024. № 1. С. 55–64.
7. Воробьева Э. А. Конструирование и визуализация образа врага в России в период Русско-японской войны 1904–1905 гг. // Научный диалог. 2024. Т. 13. № 9. С. 355–378.
8. Лившин А. Я. Советская пропаганда периода Великой Отечественной войны: образ врага и образ союзника // Человеческий капитал. 2019. № 12 (132), С. 22–29.
9. Руткевич Н. А. Реконструкция образа Врага в новых условиях // Россия в глобальной политике. 2023. Т. 21. № 4. С. 160–178.
10. Конышев В. Н., Парфенов Р. В. Гибридные войны: между мифом и реальностью // Мировая экономика и международные отношения. 2019. Т. 63. № 12. С. 56–66.

VISUAL IMAGES AS A TOOL OF INFLUENCE IN INFORMATION WARFARE IN THE MILITARY SPHERE

Sukhinin V.V.¹

Keywords: visual images, information warfare, psychological impact, visual thinking, information superiority.

Abstract

The purposes of the work are to analyze the role of visual images in information warfare, to identify the main mechanisms of their impact on mass and individual consciousness, to trace the historical evolution of their use in military conflicts, and to consider modern methods of their application and methods of counteraction in the conditions of the digital age.

The research method:

This article uses a comprehensive interdisciplinary approach that combines elements of a visual analysis, a historical-comparative method and methods of critical discourse analysis. The research is based on the study of visual

¹Vyacheslav V. Sukhinin, associate Professor of the Military Training Center at the Southern Federal University, Taganrog, E-mail: Slavet1405@mail.ru

materials (photographs, videos, cartoons, posters, deepfakes, etc.) which are used in an information warfare, with the aim of identifying their functions, techniques and mechanisms of influence on mass and individual consciousness.

The results of the study: the study confirmed the key role of visual images in information warfare — both in shaping a public opinion and in demoralizing the enemy, mobilizing the population and disinformation. Modern technologies of visual influence were analyzed, including deepfakes, neural networks, photo editors, and social media, which are actively used in current military conflicts. The need for a systemic counteraction of visual disinformation was identified, including the development of critical thinking, training in technical analysis and the creation of operational counter-materials.

Practical value: The comprehensive approach to the analysis of visual images as a tool of information warfare has been developed - historical, political and media-visual aspects are combined, considering visual means not only as a form of communication, but also as a strategic weapon. The introduction of the concept "a visual front of the information war" emphasizes the importance of the struggle for the perception of images and symbols in the mass consciousness. The proposal of practical directions for counteracting visual disinformation can be used in the development of information security strategies.

References

1. Sayfedinov H. I. "Information warfare in the military sphere" // Military thought. 2014. No. 7. S. 38-41.
2. Muromtseva M. Y. Visual communications in the modern information society // Culture and education: scientific and informational journal of universities of culture and arts. 2023. No. 3 (50). S. 46-52.
3. Smirnova U.V. The confrontation of two consciousnesses on the example of the religious caricature of the Charlie Hebdo magazine // All-Russian Conference on Cognitive Science KISE–2017: proceedings of the All-Russian Conference (Kazan, October 30 - November 3, 2017). – Kazan: Kazan edition. University, 2017. – 566 s.
4. Bolbat O. B., Shkorkina T. B. Psychology of visual communications // Education and problems of society development. 2024. No. 4 (29). S. 13-17.
5. Zazaeva N. B. "Propaganda as a phenomenon of political culture in the information society" // Bulletin of the Volga Institute of Management", 2015. № 5 (50).
6. Chizhikova A.M. The visual image of an enemy and an ally in the satirical maps of the Entente countries of 1914-1917. // Humanitarian accent. 2024. No. 1. S. 55-64.
7. Vorobyeva E. A. Constructing and visualizing the image of the enemy in Russia during the Russian-Japanese war of 1904-1905 // Scientific dialogue. 2024. Vol. 13. No. 9. S. 355-378.
8. Livshin A. Ya. Soviet propaganda of the period of the Great Patriotic War: the image of the enemy and the image of an ally // Human capital. 2019. No. 12 (132), S. 22-29.
9. Rutkevich N. A. Reconstruction of the image of the Enemy in new conditions // Russia in global politics. 2023. Vol. 21. No. 4. S. 160-178.
10. Konyshov V. N., Parfenov R. V. Hybrid wars: between myth and reality // World economy and international relations. 2019. Vol. 63. No. 12. S. 56-66.



ВОПРОСЫ УЧЕТА АТМОСФЕРНЫХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ ОТКРЫТОЙ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Маммадов А.М.¹, Ибрагимова А.Э.²

DOI:10.21681/3034-4050-2025-3-65-69

Ключевые слова: оптическая система, передача информации, атмосфера, ослабление сигнала, оптимизация, интенсивность, дождь

Аннотация

Цель работы: оптимизация работы FSO системы распределенного типа, где центральный передающий центр посылает оптические сигналы на n количество приемников, удаленных от центрального пункта на разные расстояния.

Метод: Введено на рассмотрение оптимизационная функция в виде функциональной зависимости между интенсивностью дождей (R) и дистанции до оптических приемников l . Составлен целевой функционал содержащий оптимизационную функцию и характеризующий суммарное ослабления оптического сигнала по всем каналам. Сформулирована и решена оптимизационная задача вычисления оптимального вида указанной функции при котором суммарное ослабления оптического сигнала достигает минимальной величины.

Результаты исследования: решена оптимизационная задача, которое показало, что при наличии обратной логарифмической зависимости l от R суммарное ослабление в распределенной FSO системе достигает минимальной величины.

Научная новизна: впервые решена задача оптимального учета влияния дождей на эффективность работы FSO систем распределенного типа, с учетом ослабления используемого лазерного луча при наложении ограничения на суммарную протяженность дистанций до приемников.

Введение

Хорошо известно, что системы лазерной атмосферной связи обладают такими преимуществами, как отсутствие явлений электромагнитной интерференции, отсутствие собственного электромагнитного излучения, возможность стыковки с оптоволоконными системами, возможность быстрого развертывания, низкая степень битовых ошибок [1–3]. Основным недостатком так их систем (далее FSO систем) заключается в подверженности интенсивности используемого лазерного луча влиянию атмосферных и метеорологических факторов, таких как туман, дождь, снег, рассеяние аэрозольными частицами. Общее ослабление α сигнала в FSO системах может быть выражено следующим уравнением:

$$\alpha = \alpha_{\text{туман}}(\lambda) + \alpha_{\text{снег}} + \alpha_{\text{дождь}} + \alpha_{\text{рас}}, \text{ dB/км}$$

где $\alpha_{\text{рас}}$ — ослабление из-за рассеяния аэрозольными частицами.

В общем случае $\alpha_{\text{туман}}(\lambda)$ превышает $\alpha_{\text{дождь}}$, однако в тех решениях, где частотность появле-

ния дождей выше частотности появления тумана фактором дождя нельзя пренебречь. Согласно [4], ослабление из-за дождя линейно растет в зависимости от интенсивности дождя. Согласно [5] при увеличении интенсивности дождя увеличивается и размер дождевых капель, что в свою очередь, приводит к ослаблению оптического луча из-за таких явлений как отражение и рефракция. Удельное ослабление в системах FSO определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{дождь}} = kR^a, \text{ dB/км}$$

где R — интенсивность дождя в мм/час.

Согласно [6] ослабление из-за снега вычисляется аналогичной формулой:

$$\alpha_{\text{снег}} = aS^b, \text{ dB/км}$$

где коэффициенты a и b определяются следующим образом: $a=5,42 \cdot 10^{-4} \lambda + 5,49587$; $b=1,38$.

Как отмечается в работе [7], при хорошей видимости максимальное расстояние передачи оптического луча может быть определено по сле-

¹Маммадов Афлатун Масим оглы, кандидат технических наук, докторант Национального Аэрокосмического Агентства, г. Баку, Азербайджанская Республика. E-mail: aflatunmasimoglu@gmail.com

²Ибрагимова Арзу Эльдар гызы, кандидат технических наук, Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, г. Баку, Азербайджанская Республика. E-mail: Suleymanovae535@gmail.com

дующей формуле:

$$L_{\max} = 10^{-\alpha/20}$$

Как отмечается в работе [3], применительно к дождю коэффициенты k и α сильно различны в различных регионах. Так, например, для Японии $k=1,58$; $\alpha=0,63$, а во Франции $k=1,076$; $\alpha=0,67$.

Согласно [1], удельное ослабление из-за дождя не зависит от длины волны оптического излучения, которая обычно выбирается в интер-

валах (0,78-0,85) и (1,520-1,600 мкм). Как было показано в работе [8], коэффициенты k и α дождя зависят от распределения дождевых капель по размерам, которое моделируется Гамма-функцией. Согласно работе [9], Гамма-функция характеризуется двумя показателями: параметр формы μ и интенсивность дождя. При этом μ изменяется в пределах $[-3 \div 8]$.

В таблице 1 приведены значения показателей k и α в зависимости от μ .

Таблица 1

Зависимость показателей k и α от показателя γ распределения μ

(μ)	k	α
-3	4.0684	0.2077
-2	2.2838	0.4050
-1	1.5921	0.5506
0	1.2924	0.6436
1	1.1394	0.7057
2	1.0505	0.7497
3	0.9938	0.7823
4	0.9551	0.8074
5	0.9273	0.8273
6	0.9065	0.8435
7	0.8905	0.8569
8	0.8779	0.8682

На рис. 1 показаны кривые зависимости удельного ослабления оптического луча от показателя μ и интенсивности дождя.

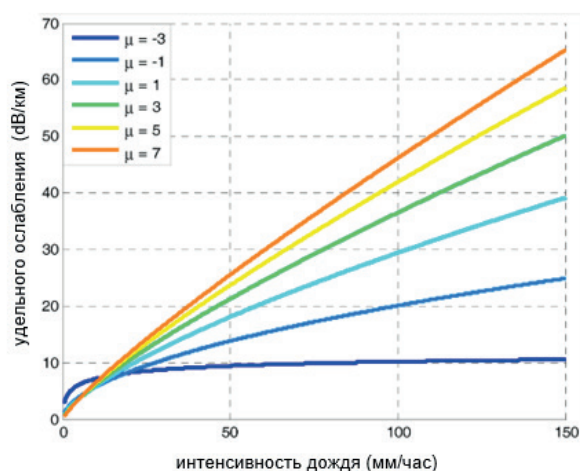


Рис. 1. Кривые зависимости ослабления оптического луча от показателя μ гамма распределения дождевых капель, по размеру, а также от интенсивности дождя

Вместе с тем, дождь являясь метеорологическим событием, является пространственно-зависимым процессом. Следовательно, закон распределения вероятности, т. е. показатель γ изменяется в зависимости от расстояния прохождения оптического луча, т. е. длины оптического канала передачи информации. На основе соответствующих данных могут быть составлены карты дождя, т. е. зависимость показателя γ от расстояния, которые могут быть использованы при проектировании систем FSO [1]. Однако также существуют модели, в которых учтены влияющие на ослабление луча общие факторы, такие как расстояние распространения луча. Так, например, согласно работе [10] имеем место следующее соотношение:

$$\alpha_{\text{дождь}} = \exp [-(0,05556+0,00848R - 3,66 \cdot 10^{-5} R^2) l]$$

где l -расстояние прохождения луча.

Целью настоящей статьи является применение модели типа (5) для определения оп-

тимальной конфигурации систем FSO распределенного типа с учетом ослабления луча из-за влияния дождя.

Материалы и методы

Структура исследуемой конфигурации FSO системы распределенного типа показана на рис. 2.

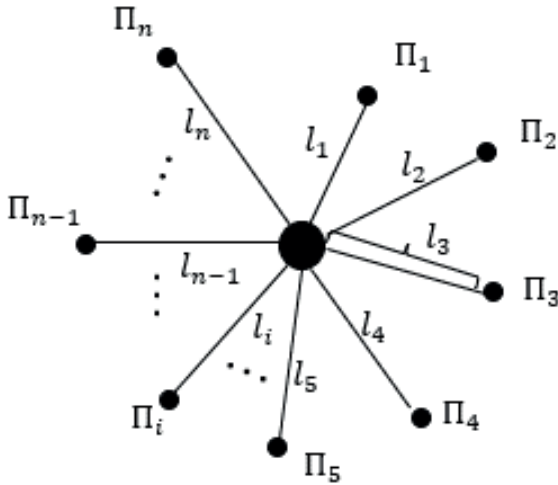


Рис. 2. Конфигурационная структура оптимизируемой системы распределенного FSO

Рассмотрим следующую дискретную модель распределенной системы FSO. Примем существование упорядоченного множества R :

$$R = \{R_i\}; i = (1, n)^-$$

где n -количество ветвей системы распределенной FSO.

Также примем существование множества L .

$$L = \{l_j\}; j = (1, n)^-$$

Введем на рассмотрение дискретную функцию:

$$l_j = \varphi(R_i)$$

на которую наложим следующее ограничительное условие:

$$\sum_{j=1}^n l_j = C_1; C_1 = const$$

На базе выражения (5) с учетом (7) составим следующий дискретный функционал F_g :

$$F_g = \sum_{j=1}^n \exp[-(a_1 + a_2 R - a_3 R^2) l_j(R_i)]$$

где

$$a_1 = 0,05536; a_2 = 0,00848; a_3 = 3,66 \cdot 10^{-5}$$

Далее, для удобства математических преобразований дискретные модели (9) и (11) заменим на эквивалентные непрерывные модели

$$\int_{R_{min}}^{R_{max}} \varphi(R) dR = C_2; C_2 = const$$

$$F_H = \int_{R_{min}}^{R_{max}} \exp[-(a_1 + a_2 R - a_3 R^2) \varphi(R)] dR$$

С учетом выражений (12) и (13) составим следующий целевой функционал F_0 безусловной вариационной оптимизации:

$$F_0 = \int_{R_{min}}^{R_{max}} \exp[-(a_1 + a_2 R - a_3 R^2) \varphi(R)] dR + \lambda [\int_{R_{min}}^{R_{max}} \varphi(R) dR - C_2]$$

где λ — множитель Лагранжа.

Решение оптимизационной задачи (14) удовлетворяет следующему условию:

$$\frac{d\{\exp[-(a_1 + a_2 R - a_3 R^2) \varphi(R)] + \lambda \varphi(R)\}}{d\varphi(R)} = 0$$

Из условия (15) находим:

$$[\exp[-(a_1 + a_2 R - a_3 R^2) \varphi(R)]](-a_1 + a_2 R - a_3 R^2) + \lambda = 0$$

Из выражения (16) получим

$$\exp[-(a_1 + a_2 R - a_3 R^2) \varphi(R)] = \frac{\lambda}{a_1 + a_2 R - a_3 R^2}$$

Логарифмируя обе стороны (17) получим

$$\varphi(R) = \frac{1}{a_1 + a_2 R - a_3 R^2} \cdot \ln \left[\frac{a_1 + a_2 R - a_3 R^2}{\lambda} \right]$$

Таким образом, при решении (18) суммарное ослабление в распределенной FSO системе достигает экстремальной величины.

Для определения типа экстремума воспользуемся правилом Лагранжа. Вычислим следующую величину:

$$\beta = \frac{d^2\{\exp[-(a_1 + a_2 R - a_3 R^2) \varphi(R)] + \lambda \varphi(R)\}}{d\varphi(R)^2}$$

Подсчеты показывают, что β является всегда положительной величиной. Следовательно, при решении (18) суммарное ослабление в распределенной FSO системе достигает минимума.

Рассмотрим вопрос о вычислении λ . С учетом выражений (12) и (18) напишем:

$$\int_{R_{min}}^{R_{max}} \frac{1}{a_1 + a_2 R - a_3 R^2} \cdot \ln \left[\frac{a_1 + a_2 R - a_3 R^2}{\lambda} \right] dR = C_2$$

Из выражения (20) находим:

$$\int_{R_{min}}^{R_{max}} \frac{1}{a_1 + a_2 R - a_3 R^2} \cdot \ln \left[\frac{a_1 + a_2 R - a_3 R^2}{\lambda} \right] dR - \int_{R_{min}}^{R_{max}} \frac{\ln \lambda}{a_1 + a_2 R - a_3 R^2} dR = C_2$$

Из выражения (21) находим

$$[\ln \lambda] \cdot \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} \frac{1}{a_1 + a_2 R - a_3 R^2} dR = \int_{R_{\min}}^{R_{\max}} \frac{\ln(a_1 + a_2 R - a_3 R^2)}{a_1 + a_2 R - a_3 R^2} dR - C_2$$

Из выражения (22) получим

$$\ln \lambda = \frac{\int_{R_{\min}}^{R_{\max}} \frac{\ln(a_1 + a_2 R - a_3 R^2)}{a_1 + a_2 R - a_3 R^2} dR - C_2}{\int_{R_{\min}}^{R_{\max}} \frac{dR}{a_1 + a_2 R - a_3 R^2}}$$

Из выражения (23) получим:

$$\lambda = \exp \left[\frac{\int_{R_{\min}}^{R_{\max}} \frac{\ln(a_1 + a_2 R - a_3 R^2)}{a_1 + a_2 R - a_3 R^2} dR - C_2}{\int_{R_{\min}}^{R_{\max}} \frac{dR}{a_1 + a_2 R - a_3 R^2}} \right]$$

Таким образом, с учетом $\lambda = \text{const}$ является положительной величиной выше сделанное заключение о характере вычисленного экстремума сохраняет свою силу.

Обсуждение

Таким образом, проанализирован вопрос о влиянии дождей на эффективность работы FSO систем, с учетом ослабления используемого лазерного луча из-за воздействия дождя. Рассмотрены FSO системы распределенного типа, в которой передающий центр посылает оптические сигналы на n количество приемников, удаленных от оптического передающего центра на разные расстояния. Введено на рассмотрение функциональная зависимость между интенсивностью до-

ждей (R) и расстоянием до оптических приемников l . Составлен целевой функционал зависящий от указанной функциональной связи и характеризующий суммарное ослабления оптического сигнала по всем каналам. Сформулирована и решена оптимизационная задача вычисления оптимального вида указанной функции при котором суммарное ослабления оптического сигнала достигает минимальной величины. Решение оптимизационной задачи показало, что при наличии обратной логарифмической зависимости l от R суммарное ослабление в распределенной FSO системе достигает минимальной величины.

Заключение

Определено, что в FSO системе распределенного типа при воздействии фактора дождя возможен оптимальный режим функционирования, в котором суммарное ослабление оптического сигнала достигает минимума.

- ❖ Поставлена и решена оптимизационная вариационная задача для решения вопроса о выборе конфигурации распределенного типа FSO.
- ❖ Показано в результате решения оптимизационной задачи, что суммарное ослабление оптического сигнала в распределенной FSO системе может достичь минимума в том случае, если между показателями l и R существует обратная логарифмическая взаимосвязь.

Литература / References

1. Zafar, S., Khalid, H. Free Space Optical Networks: Applications, Challenges and Research Directions. Wireless Pers Commun 121, 429–457 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08644-4>.
2. Sharma, D., Tripathi, A., & Kumari, M. (2022). FSO systems for next generation networks: a review, techniques and challenges. Journal of Optical Communications, 0(0). <https://doi.org/10.1515/joc-2022-0288>.
3. Sharma, Neeraj. «Performance comparison of different intensity modulation formats for FSO systems». Journal of Optical Communications, 2024. <https://doi.org/10.1515/joc-2024-0159>.
4. E. Verdugo, L. Da Silva Mello, C. Pereira Colvero and R. Nebuloni, «Estimation of Rain Attenuation in FSO Links based on Visibility Measurements», 2023 17-th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Florence, Italy, 2023, pp. 1–5, doi: 10.23919/EuCAP57121.2023.10133748.
5. Douatia Kone, Pentjiligu Adama Soro, Aladji Kamagat. Evaluation of Free Space Optical (FSO) Link Under Weather Conditions in Abidjan. International Journal of Physics, 2024, 12 (6), pp.247-259. [ff10.12691/ijp-12-6-1ff](https://doi.org/10.12691/ijp-12-6-1ff). [ffhal-04784598](https://doi.org/10.12691/ijp-12-6-1ff)
6. Akiba M., Ogawa K., Wakamori K., Kodate K., Ito S. Measurement and simulation of the effect of snowfall on free space optical propagation// journal of applied optics. Vol. 47. No. 31. Pp. 5736–5743. Nov. 2008.
7. Rashed A., Mohamed A., Sharshar H., El-dien E. S. Laser atmospheric transmission limitations in optical wireless communication systems based on different transmission levels for short and local areas network applications// International journal for research in applied science & engineering technology. Vol. 2. Issue X. Oct 2014.
8. Capsoni C., Nebuloni R. Effect of rain on free space optics // The eleventh URSI commission F open symposium on radio wave propagation and remote sensing PUC-RIO. Brazil. 2007. 277–280.
9. Ulbrich, C. W. Natural Variations in the Analytical form of the Raindrop Size Distribution. J. Clim. Appl. Meteor. 1983, 22, 1764–1775.
10. Carbonneau T., Wisley D. Opportunities and challenges for optical wireless, the competitive advantage of free space telecommunications links in today's crowded market place // SPIE conference on optical wireless communications. 1998. Pp. 119–128.

ISSUES OF TAKING INTO ACCOUNT ATMOSPHERIC AND METEOROLOGICAL FACTORS IN THE CONSTRUCTION OF OPEN ATMOSPHERIC SYSTEMS OPTICAL COMMUNICATION

Mammadov A.M.¹, Ibragimova A.E.²

Keywords: optical system, information transmission, atmosphere, signal attenuation, optimization, intensity, rain.

Abstract

The purpose of the work is to optimize the operation of the FSO system of a distributed type, where the central transmitting center sends optical signals to the number of receivers remote from the central point at different distances. n

Method: An optimization function in the form of a functional dependence between the intensity of rain and the distance to optical receivers has been introduced. A target functional containing an optimization function and characterizing the total attenuation of the optical signal on all channels has been compiled.

Results of the study: the optimization problem was solved, which showed that in the presence of an inverse logarithmic dependence on the total attenuation in a distributed FSO system reaches a minimum value.

Scientific novelty: for the first time, the problem of optimal consideration of the impact of rain on the efficiency of FSO systems of distributed type is solved, taking into account the attenuation of the laser beam used when imposing a limit on the total length of distances to receivers.



¹Aflatun M. Memmedov, Ph.D. (in Tech), National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan. E mail: aflatunmasimoglu@gmail.com

²Arzu E. Ibragimov, Ph.D., Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Republic of Azerbaijan. E mail: Suleymanovae535@gmail.com

СТУПЕНИ ЗАЩИТЫ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Корнилов Д. Ю.¹, Морозов А. Н.², Слепов С. Н.³, Абрамкин Р. В.⁴

DOI:10.21681/3034-4050-2025-3-70-79

Ключевые слова: малогабаритные источники тока, пожаробезопасность, аварийные ситуации, тепловой разгон, возгорание, взрыв, сепаратор, токоотводы, катодный материал, процесс горения.

Метод исследования: анализа и синтеза, позволяющий комплексно оценить перспективы внедрения новых способов защиты литий-ионных аккумуляторов.

Цель исследования: изучение причин возгорания и взрыва литий-ионных аккумуляторов, а также новых способов их многоуровневой защиты, позволяющих обеспечить безопасную эксплуатацию.

Результат: в ходе исследования были изучены процессы, происходящие в литий-ионном аккумуляторе в процессе заряда и разряда. Проведен анализ причин пожаров и взрывов литий-ионных аккумуляторов на примере продукции народно-хозяйственного назначения. Установлено, что основной причиной является внутреннее короткое замыкание, возникающее вследствие разрыва сепаратора из-за роста дендритов при перезаряде. Определена важность и необходимость исследования вопроса безопасности аккумуляторов. Описана суть процесса возникновения теплового разгона, приводящего к возгоранию литий-ионного аккумулятора. Выработаны предложения, направленные на повышение безопасности эксплуатации литий-ионных аккумуляторов, заключающиеся в совершенствовании сепараторов, замене алюминиевой и медной фольги, применяемой в качестве токоотводов литий-ионных аккумуляторов на металлизированную медь или алюминий лавсановую пленку, а также использовании микрокапсул из низкоплавкого композитного полимера, внутри которых заключен огнетушащий агент.

Практическая ценность: комплексное использование предложенных способов защиты литий-ионных аккумуляторов позволяет существенно повысить безопасность их эксплуатации – минимизировать риск взрыва или пожара в случае возникновения теплового разгона.

Вклад авторов: Корнилов Д.Ю. – разработки в области увеличения безопасности литий-ионных аккумуляторов; Морозов А.Н.; Слепов С.Н. – причины возникновения нестабильностей и теплового разгона литий-ионного аккумулятора; Абрамкин Р.В. – состав и устройство литий-ионного аккумулятора, аварии и их последствия.

Введение

С каждым днем применение литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) становится все более повсеместным, от малогабаритных источников тока для портативных микроэлектронных устройств, до тяговых батарей для электротранспорта. Широкая область применения ЛИА определяется высокой энергоемкостью, длительным сроком службы, высокой надежностью и безопасностью при соблюдении требований эксплуатации. Однако, случаи, связанные с пожарами и взрывами ЛИА, часто происходят во всем мире, особенно с мобильными телефонами, ноутбуками, электромотоциклами и самолетами. Некоторые из них пред-

ставляли серьезную угрозу для жизни и здоровья людей и привели к многочисленным отзывам продукции производителями. В данной статье приводится описание некоторых аварийных ситуаций, а также современные достижения в направлении их предотвращения и защиты.

Состав и устройство литий-ионного аккумулятора

Выпускаемый современной промышленностью литий-ионный аккумулятор представляет собой герметично упакованные разнополярные электроды, разделенные между собой диэлектрическим сепаратором, пропитанным раствором электролита (рисунок 1).

¹Корнилов Денис Юрьевич, доктор технических наук, заместитель генерального директора АО «АВЭКС», научный руководитель по направлению химических источников тока, г. Москва. E-mail: d.kornilov@avecs.ru

²Морозов Алексей Николаевич, начальник отдела ФГБУ «16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт» Минобороны России, Московская область, г. Мытищи. E-mail: alexu.morozov@yandex.ru

³Слепов Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник ФГБУ «16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт» Минобороны России, Московская область, г. Мытищи. E-mail: slepov69@mail.ru

⁴Абрамкин Роман Викторович, кандидат технических наук, заместитель начальника отдела ФГБУ «16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт» Минобороны России, Московская область, г. Мытищи. E-mail: avg62rus@rambler.ru

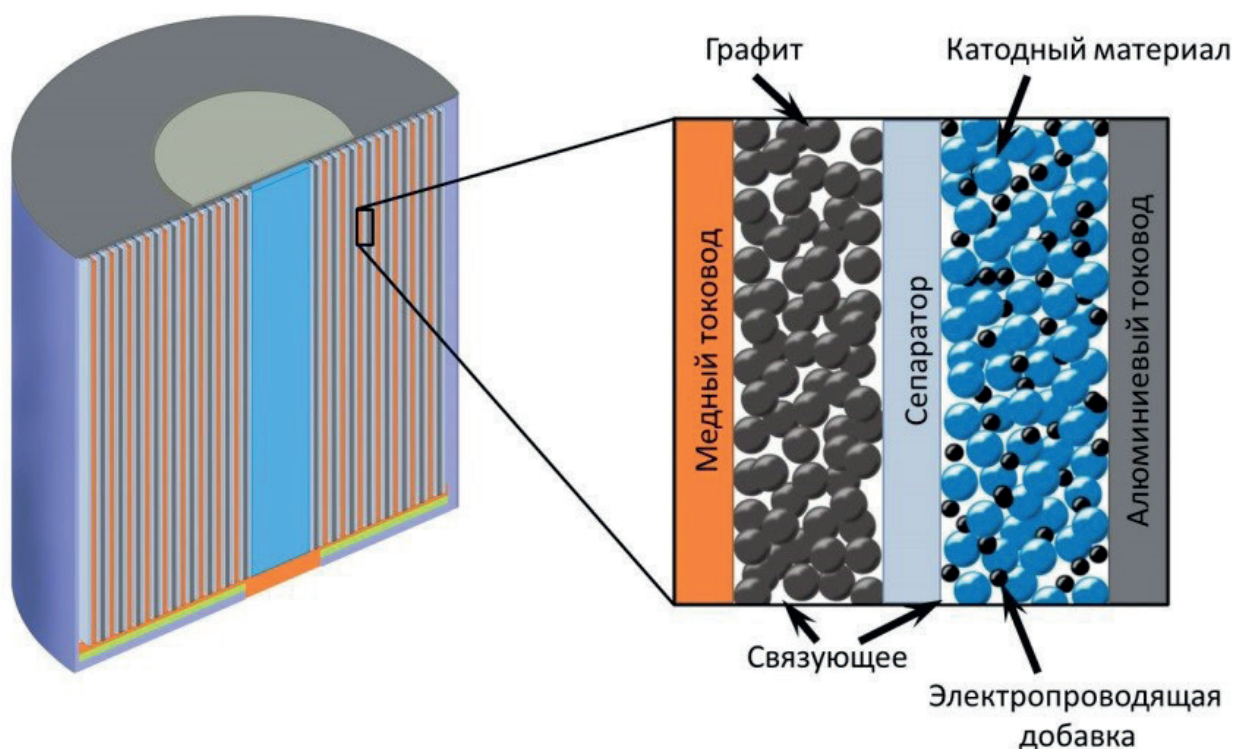


Рис.1. Конструкция литий-ионного аккумулятора

Положительный электрод – катод, представляет собой алюминиевую фольгу, выполняющую роль токоотвода, покрытую слоем электрод-активного материала, содержащего связующее, электропроводные добавки и катодный материал – литированные оксиды переходных металлов, которые можно классифицировать по типу кристаллической структуры:

1. Слоистая структура: LiCoO_2 , LiNiO_2 , $\text{LiNi}_{1/2}\text{Mn}_{1/2}\text{O}_2$, $\text{LiCo}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$, $\text{LiAl}_{0,05}\text{Co}_{0,15}\text{Ni}_{0,8}\text{O}_2$;
2. Структура шпинели: LiMn_2O_4 , LiV_2O_4 ;
3. Структура оливина: LiFePO_4 , LiMnPO_4 , LiCoPO_4 .

Применение таких металлов, как Co, Ni, Mn, Fe и V вызвано их способностью присоединять и отдавать электроны в окислительно-восстановительных реакциях.

Отрицательный электрод – анод, представляет собой медную фольгу выполняющую роль токоотвода, покрытую слоем электрод-активного материала, содержащего связующее, электропроводные добавки и анодный материал – графит. Кроме графита, в выпускаемых промышленностью ЛИА может применяться Li_2TiO_3 . Также в некоторых ЛИА могут содержаться кремнийсодержащие добавки, способные повысить

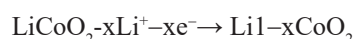
удельную энергоемкость электрод-активного материала.

Электролит, представляет собой растворенную соль лития (LiPF_6 , LiBF_4 , LiClO_4 , LiAsF_6) в смеси апротонных дипольных растворителей.

Сепаратор, представляет собой достаточно прочную, пористую (40–50%) диэлектрическую пленку толщиной от 4 до 25 мкм в основном изготовленную из полиэтилена, полипропилена, или их сополимеров, способную выдерживать нагрев до 90°C в течение часа.

При внешней простоте устройства литий-ионного аккумулятора процесс его работы достаточно сложен. Итак, подключение ЛИА к блоку питания во время заряда (рисунок 2), вызывает смещение электрохимического потенциала между электродами, в результате чего происходит окисление катодного материала с высвобождением электронов, которые в свою очередь переходят по электрической цепи к аноду. В результате окисления и потери электрона, содержащийся в катодном материале литий переходит из атомарного состояния в ионное, который в свою очередь за счет диффузии и градиента потенциала в слое электролита перемещается к отрицательному электроду, где происходит внедрение (интеркаляция) иона лития в структуру графита вследствие перехода свободного электрона от графита

к литию. Уравнение реакции процесса происходящего с катодным материалом при заряде на примере LiCoO_2 может иметь следующий вид:



Уравнение реакции процесса происходящего с анодным материалом при заряде на примере графита может иметь следующий вид:

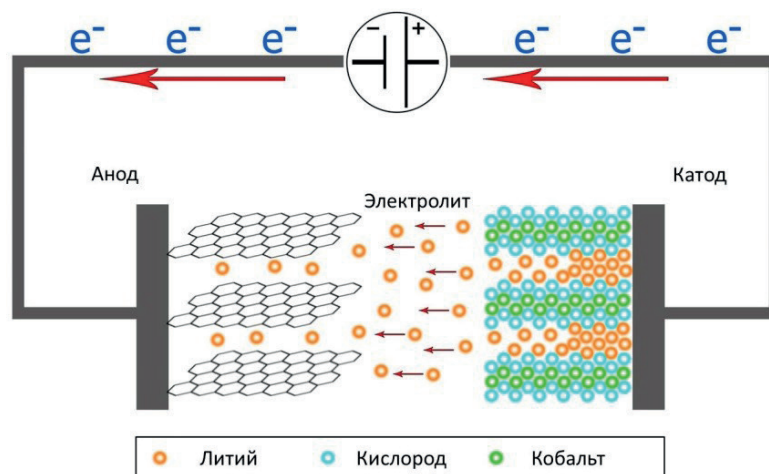
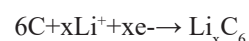


Рис.2. Процесс заряда литий-ионного аккумулятора

При разряде, а именно при подключении сопротивления (нагрузки) к электродам аккумулятора (рисунок 3), происходит процесс обратный заряду. За счет стремления электрохимической системы ЛИА к выравниванию разности потенциалов, от анода высвобождаются электроны формируя электрический ток во внешней цепи перемещаясь через сопротивление (нагрузку) к положительно заряженному электроду, при потере электрона происходит деинтеркаляция лития из структуры графита, при этом образовавшиеся ионы лития движутся через электролит к катоду, где происходит восстановление катодного материала за счет перехода электро-

на из внешней цепи и соответственно внедрение лития из электролита в его кристаллическую решетку.

В результате система приобретает нейтральное состояние. Уравнение реакции процесса происходящего с катодным материалом на примере LiCoO_2 при разряде может иметь следующий вид:



Уравнение реакции процесса происходящего с анодным материалом при разряде на примере графита может иметь следующий вид:

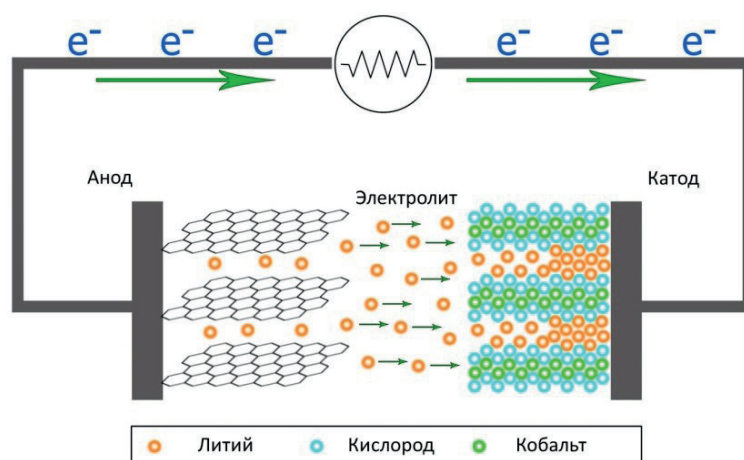


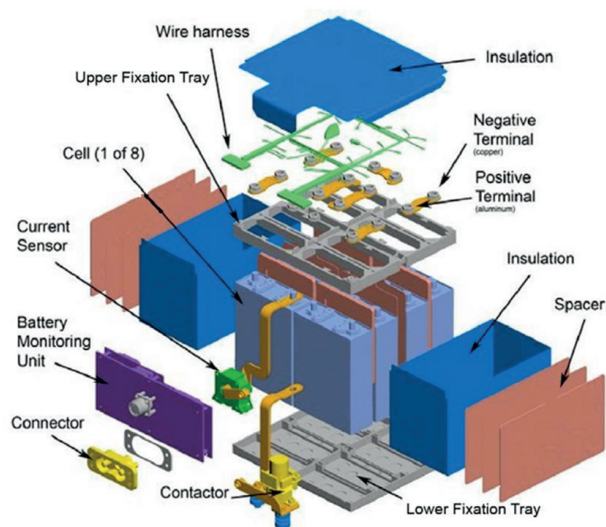
Рис.3. Процесс разряда литий-ионного аккумулятора

Аварии и последствия

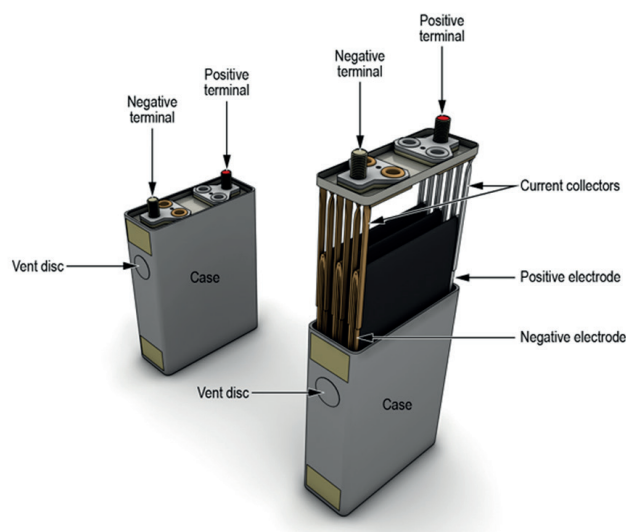
С момента коммерциализации ЛИА в 1991 году компанией Sony, их энергоемкость постоянно увеличивалась. Современные литий-ионные аккумуляторы могут достигать 250–300 Вт·ч/кг. Однако при неправильной эксплуатации ЛИА, их химическая энергия может высвобождаться в виде пожара или взрыва. Несчастные случаи, связанные с пожарами и взрывами ЛИА, часто происходят во всем мире, особенно с мобильными телефонами, ноутбуками, электромобилями и транспортными средствами. Некоторые из них представляли серьезную угрозу для жизни и здоровья людей и привели к многочисленным отзывам продукции производителями.

Например, 16 января 2013 года эксплуатация всех самолетов Boeing 787 Dreamliner была приостановлена на неопределенный срок из-за неисправности литий-ионной аккумуляторной батареи, обеспечивающей резервное питание на борту (рисунок 4) [1]. События предшествующие остановке эксплуатации самолетов произошли с разницей в 10 дней в январе 2013 года. Так 7 января 2013 года в аэропорту Логана (США) произошло возгорание аккумуляторной батареи в припаркованном самолете. Механик заметил сбой в подаче электроэнергии во вспомогательной силовой установке, за которым последовало пламя и дым, исходящие из клемм вспомогательного аккумуляторной батареи. Первые усилия по реагированию были затруднены из-за оплавленной быстроразъемной ручки, но возгорание батареи удалось потушить. 16 янва-

ря 2013 года во время полета в самолете Boeing 787 Dreamliner, принадлежащем авиакомпании All Nippon Airways, в кабине пилотов сработал сигнал тревоги от батареи, пилотам пришлось совершить аварийную посадку в аэропорту Такамацу в Кагаве (Япония). После инцидентов с аккумуляторами, 18 января 2013 года Министерством транспорта Японии была представлена версия о том, что батарея работала при напряжении, превышающем рекомендации производителя. Однако в системе управления батареей была установлена защита на предельные значения рабочего напряжения, кроме того, была реализована пассивная балансировка аккумуляторов для предотвращения перезарядки путем выравнивания напряжения между аккумуляторами. 21 января 2013 года было начато совместное расследование в отношении производителя аккумуляторов GS Yuasa, однако проблем с контролем качества или производством обнаружено не было. По результатам рентгенографического анализа (рисунок 5) было установлено, что в одном из аккумуляторов произошел тепловой разгон (процесс, инициирование которого происходит при нагреве ЛИА в результате перезарядки, внешнего или внутреннего короткого замыкания, приводящего к протеканию экзотермических химических реакций с образованием горючих газообразных смесей с последующим возгоранием), который начался с внутреннего короткого замыкания. Однако причины, предшествующие короткому замыканию установлены не были.



а



б

Рис.4. а) конструкция литий-ионной аккумуляторной батареи Boeing 787 Dreamliner;
б) конструкция одного аккумулятора из состава аккумулятора батареи Boeing 787 Dreamliner

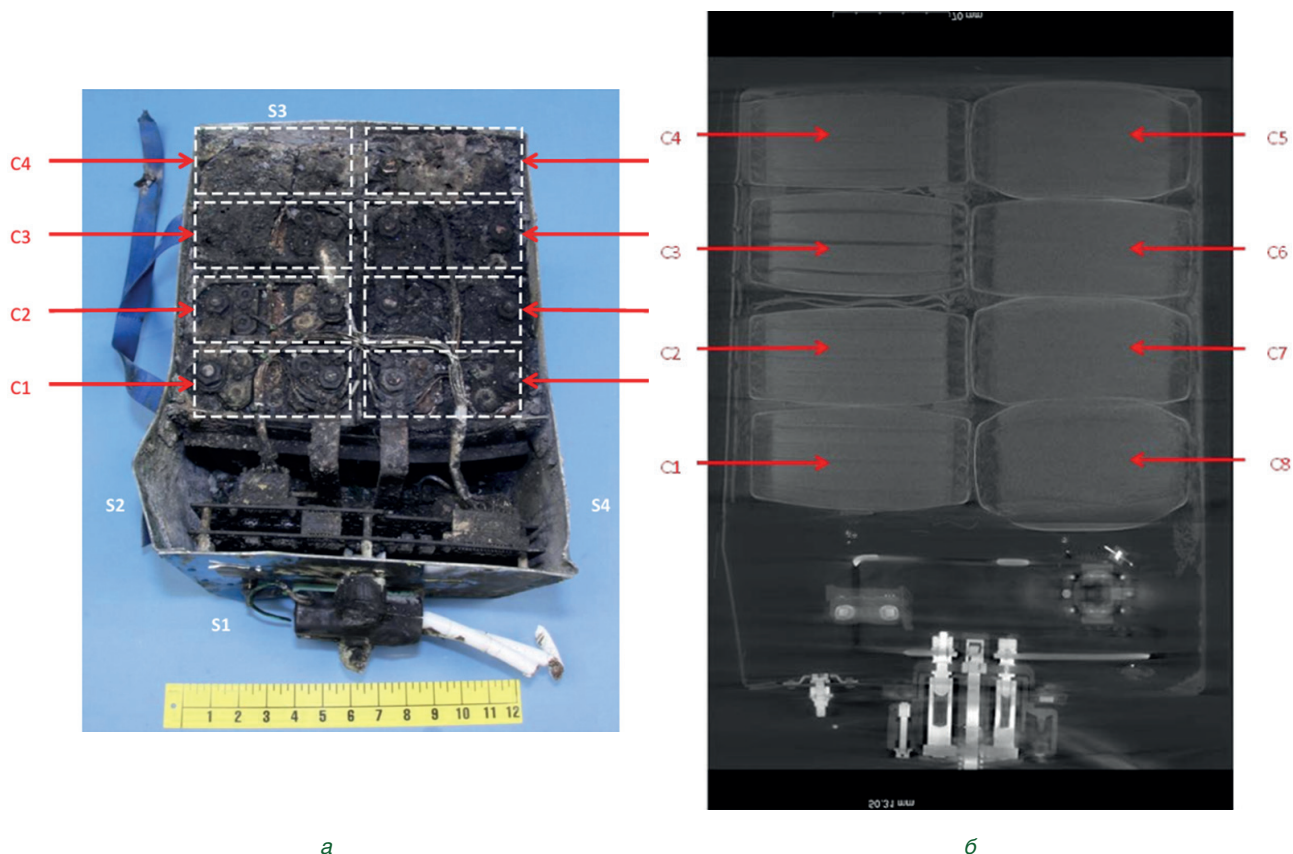


Рис. 5.а) Внешний вид литий-ионной аккумуляторной батареи Boeing 787 Dreamliner после аварии;
б) Рентгенографическое изображение литий-ионной аккумуляторной батареи Boeing 787 Dreamliner после аварии

Следующий пример, связан с ведущей компанией по производству электроники в мире – Samsung Electronics. Так 2 сентября Samsung приостановила продажи Galaxy

Note 7 после того, как было обнаружено, что производственный дефект в аккумуляторах телефонов привел к пожарам и взрывам. Необходимо отметить, что на тот момент применяемый в Galaxy Note 7 литий-ионный аккумулятор обладал рекордными энергоемкостными характеристиками 250 Вт·ч/кг и 700 Вт·ч/л. После официального отзыва 12 сентября 2016 года версия Galaxy Note 7 была заменена на телефоны с использованием аккумуляторов от китайской компании Contemporary Ampere Technology (CATL), которая также поставляла аккумуляторы для смартфонов iPhone. Однако после того, как появились сообщения об инцидентах, в которых телефоны с замененными аккумуляторами также загорались, Samsung отозвала Galaxy Note 7 по всему миру 10 октября 2016 года, а днем позже окончательно прекратила производство этих устройств.

По результатам официального расследования Samsung с привлечением трех независимых отраслевых организаций, в котором приняло участие 700 исследователей и инженеров, провело анализ 200000 устройств Galaxy Note 7 и 30000 аккумуляторов, было выявлено несколько ключевых моментов, с которыми были связаны возгорания телефонов [2]:

1. Внутреннее короткое замыкание в правом верхнем углу аккумулятора в результате смещения электродов (рисунок 6);
2. Повторяющаяся деформация сепаратора в углах аккумулятора;
3. Отсутствие изоляционной ленты на токоотводе катода (рисунок 7);
4. Смещение электродов;
5. Неравномерный уровень заряда по площади электродов;
6. Низкая толщина сепаратора по сравнению с используемыми в предыдущих устройствах (рисунок 8).

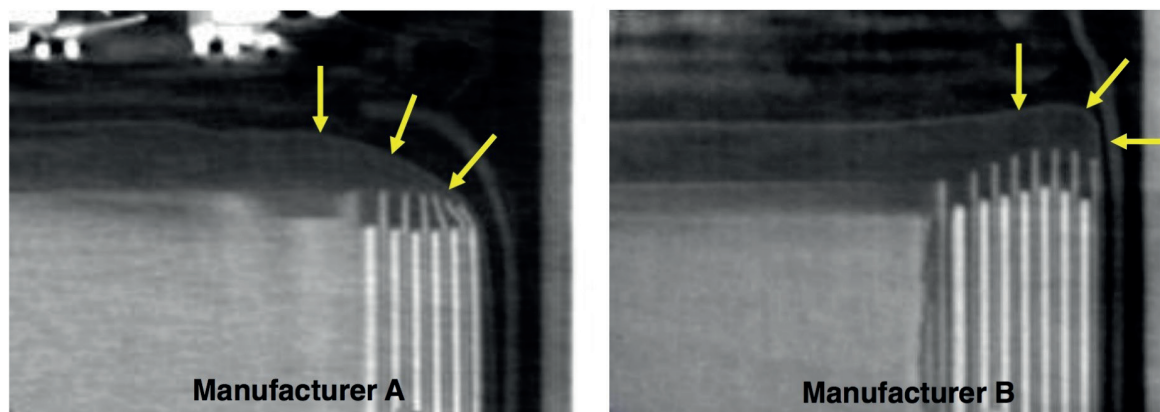


Рис.6. Смещение электродов в литий-ионном аккумуляторе Samsung Galaxy Note 7 [3]



Рис.7. Отсутствие изоляционной ленты на поверхности токоотвода катода в литий-ионном аккумуляторе Samsung Galaxy Note 7 [3]

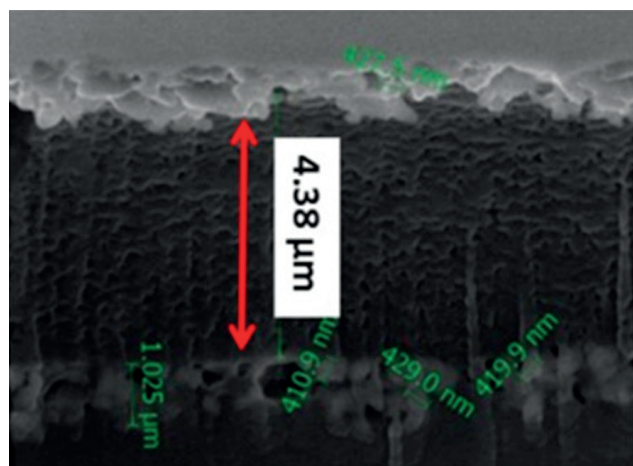


Рис.8. Микрофотография поперечного среза сепаратора литий-ионного аккумулятора Samsung Galaxy Note 7 [2]

Тепловой разгон

Представленные выше инциденты указывают о том, что безопасность является необходимым условием для аккумуляторов, и перед

будущим применением высокоэнергоемких ЛИА необходимо решить серьезные проблемы. Но, прежде

чем перейти к описанию механизмов защиты ЛИА, необходимо представить описание процессов, протекающих при тепловом разгоне.

Итак, тепловой разгон начинается от перегрева аккумулятора. Первоначальный перегрев может произойти в результате заряда аккумулятора сверх расчетного напряжения (перезаряд), воздействия чрезмерных температур, внешнего или внутреннего короткого замыкания. Внутреннее короткое замыкание является преобладающей причиной теплового разгона и относительно трудно поддается контролю. Внутреннее замыкание также может произойти в условиях разрушения источника тока, например, при проникновении внешних металлических обломков, или путем образования дендритов лития при зарядке с высокой плотностью тока, т. е. в условиях перезаряда или при низких температурах.

Далее при достижении некоторых пороговых температур ($>90^{\circ}\text{C}$) происходит разложение твердого электролита (SEI – solid electrolyte

interphase) на границе раздела графит/электролит. Слой SEI в основном состоит из стабильных (таких как LiF и Li_2CO_3) и метастабильных (ROCO_2Li , $(\text{CH}_2\text{OCO}_2\text{Li})_2$, и ROLi) компонентов, которые могут разлагаться, выделяя легковоспламеняющиеся газы и кислород. При разложении SEI температура повышается, и интеркалированный литий в аноде вступает в реакцию с органическими растворителями, выделяя легко воспламеняющиеся газы (этан, метан и другие), что еще больше повышает температуру. Когда температура превысит $120\text{--}130^\circ\text{C}$, полимерный сепаратор начинает оплавляться, что приводит к короткому замыканию в результате прямого контакта катода и анода. Затем при температуре от 150°C , начинается экзотермическое разложение катодного материала с образованием кислорода. Поскольку применяемые электролиты обладают высокой летучестью и по своей природе легко воспламеняются, в итоге начинается горение. Если взять в качестве примера широко используемый карбонатный электролит (смесь этиленкарбоната (EC) и диметилкарбоната (DMC) (1:1 по весу)), то он демонстрирует чрезвычайно низкую температуру вспышки

$25^\circ \pm 1^\circ\text{C}$. Выделяемый кислород и тепло обеспечивают необходимые условия для горения легковоспламеняющихся органических электролитов, тем самым вызывая опасность возгорания или взрыва.

Разработки в области увеличения безопасности литий-ионных аккумуляторов

Основываясь на понимании теплового разгона литий-ионного аккумулятора, изучается множество подходов с целью снижения угроз за счет рационального проектирования компонентов ЛИА. Методы обеспечения безопасности аккумулятора включают в себя внешние или внутренние механизмы защиты. Внешняя защита опирается на электронные устройства, такие как датчики температуры, предохранители, размыкатели и клапаны давления. Далее речь пойдет о внутренних механизмах защиты и современных достижениях.

Сепараторы являются ключевыми компонентами для обеспечения безопасности ЛИА, поскольку они предотвращают прямой электрический контакт между катодом и анодом, обеспечивая при этом ионный транспорт. Один из способов предотвращения теплового разгона в ЛИА заключается в том, чтобы перекрыть путь проводимости ионов лития через сепаратор. Для коммерческих ЛИА уже введены в эксплуатацию сепараторы с трехслойной структурой полипропилен (ПП)/полиэтилен (ПЭ)/полипропилен. Когда

внутренняя температура батареи поднимается выше критической температуры ($\sim 130^\circ\text{C}$), пористый слой полиэтилена частично плавится, закрывая поры пленки и предотвращая миграцию ионов в жидком электролите, в то время как слой полипропилена обеспечивает механическую поддержку для предотвращения внутреннего короткого замыкания [4]. Существуют также коммерческие версии сепараторов, в которых полипропиленовый слой заменен на покрытие из метасиликата алюминия. В работе [5] разработан трехслойный сепаратор для поглощения опасных дендритов Li и замедления их роста после проникновения в сепаратор. Слой наночастиц диоксида кремния, сгруппированный двумя слоями коммерческих полиолефиновых сепараторов (рисунок 9), может предотвращать проникновение опасных дендритов лития путем прямой реакции литирования диоксида кремния, тем самым эффективно повышая безопасность ЛИА.

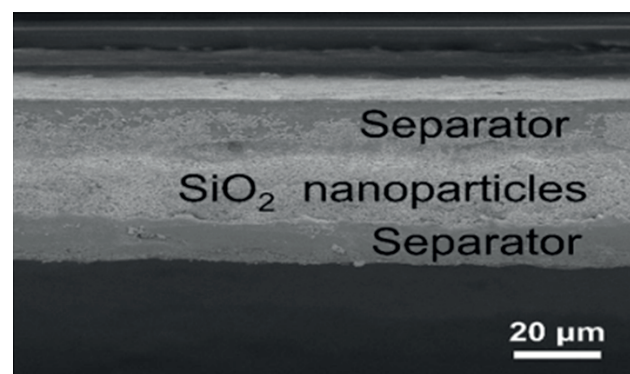


Рис.9. Микрофотография поперечного среза трехслойного сепаратора, предотвращающего проникновение дендритов лития

Еще одной разработкой в области увеличения безопасности литий-ионного аккумулятора является разработка ученых из Soteria Battery Innovation Group [6, 7], идея которых заключалась в замене алюминиевой и медной фольги применяемой в качестве токоотводов ЛИА на металлизированную медь или алюминий лавсановую пленку. Проведенные комплексные исследования совместно с NASA продемонстрировали, что при внутреннем коротком замыкании или при пробое ЛИА, происходил разогрев с оплавлением металлизированной лавсановой пленки, в результате чего прекращалась электронная проводимость, что в свою очередь предотвращало дальнейшее развитие теплового разгона (рисунок 10).



Рис.10. Литий-ионный аккумулятор с применением оплавляемых токоотводов после прокола

Вопрос безопасности катодных материалов изучен достаточно широко, и может быть ранжирован от наименее безопасных до наиболее безопасных в следующем порядке: LiNiO_2 , $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$, $\text{LiNi}_{0.7}\text{Co}_{0.2}\text{Ti}_{0.05}\text{Mg}_{0.05}\text{O}_2$, LiCoO_2 , $\text{Li}_{1+x}\text{Mn}_{2-x}\text{O}_4$, $\text{Li}[\text{Ni}_{3/8}\text{Co}_{1/4}\text{Mn}_{3/8}]\text{O}_2$, LiFePO_4 [8-10] (Рисунок 11).

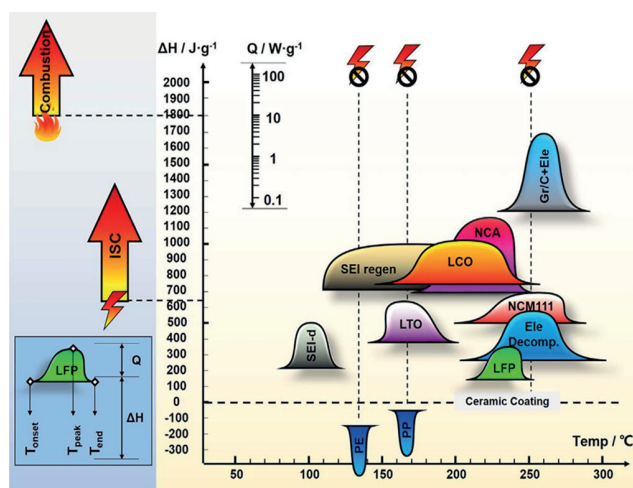


Рис.11. Зависимость температуры начала теплового разгона от количества теплоты для различных типов катодных материалов

Таким образом, для того чтобы создать литий-ионный аккумулятор с наибольшим уровнем безопасности, необходимо использовать катодный материал с максимальной температурой начала теплового разгона т. е. LiFePO_4 . Кроме того, для снижения риска развития теплового разгона ЛИА на начальном этапе, необходимо применять трехслойный оплавляемый сепаратор. Для случая развития температуры ЛИА выше температуры плавления сепаратора, необходимо применять оплавляемые токоотводы. Однако, при всем наличии элементов внутренней защиты, не стоит исключать достижения процесса горения ЛИА. Так авторы работы [11] предложили использовать микрокапсулы из низкоплавкого композитного полимера, внутри которых заключен огнетушащий агент Novec1230 (рисунок 12). При достижении 120°C оболочка микрокапсул оплавляется с высвобождением огнетушащего агента. Полученные микрокапсулы могут быть нанесены на поверхность корпуса литий-ионного аккумулятора образуя огнетушащее покрытие. При испытаниях огнетушащих микрокапсул было продемонстрировано охлаждение ЛИА при тепловом разгоне с 800°C до 30°C за 10 секунд.

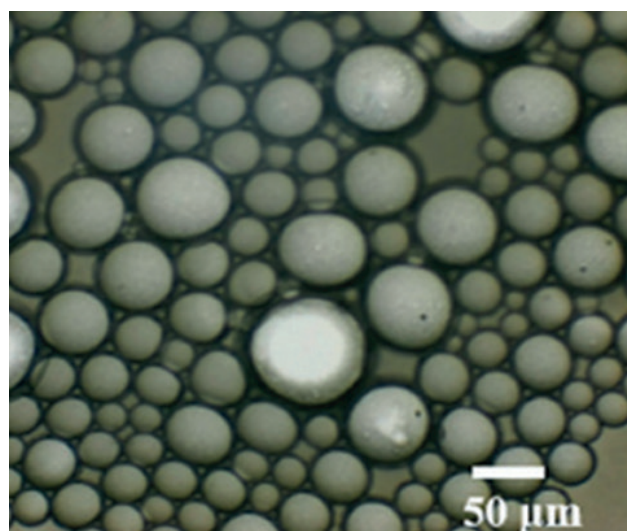


Рис.10. Литий-ионный аккумулятор с применением оплавляемых токоотводов после прокола

Выводы

Литий-ионные аккумуляторы являются неотъемлемой частью современной портативной электронной техники – от современных многофункциональных смартфонов до миниатюрных беспроводных наушников. Широкая область применения ЛИА определяется целым набором ха-

рактических, а именно: высокой удельной энергоемкостью, длительным циклическим ресурсом, вариативностью размеров и форм, высокой надежностью, а также безопасностью при соблюдении условий эксплуатации. Тем не менее, нарушение условий работы литий-ионного аккумулятора может привести к аварийной ситуации с возгоранием и взрывом. Поэтому в современные ЛИА включают различные элементы защиты, предотвращающие развитие аварийной ситуации на определенном этапе, образуя таким образом ступени защиты, к которым можно отнести:

- Тип катодного материала, позволяющего установить порог наступления теплового разгона;
- Состав и структура сепаратора, позволяющего установить диапазон температур, при

которых произойдет оплавление пористой структуры полимера, приводящего к снижению ионной проводимости;

- Оплавляемые токоотводы, представляющие собой металлизированную полимерную пленку, разрушающуюся при достижении определенной температуры, приводящей к снижению электронной проводимости или к разрыву цепи;
- Внешние огнетушащие покрытия.

Таким образом, комплексный подход, а именно правильная расстановка температурных диапазонов, при которых должна сработать каждая из ступеней внутренней защиты в ЛИА, позволит минимизировать или полностью исключить развитие аварийной ситуации.

Литература

1. Kolly J. M., Panagiotou J. The Investigation of a Lithium-Ion Battery Fire Onboard a Boeing 787 by the US National Transportation Safety Board // <https://telegra.ph/Boeing-787-pdf-03-25> (дата обращения 10 апреля 2025 г)
2. Loveridge M. J., Remy G., Kourra N., Genieser R., Barai A., Lain M. J., Guo Y., Amor-Segan M., Williams M. A., Amietszajew T. et al. Looking Deeper into the Galaxy (Note 7). Batteries 2018 <https://doi.org/10.3390/batteries4010003>
3. Ron Amadeo Two different production problems from two different suppliers killed the Note 7 Ars Technica 2017 <https://arstechnica.com/gadgets/2017/01/galaxy-note-7-investigation-blames-small-battery-cases-poor-welding/>
4. P. Arora, Z. J. Zhang, Battery separators. Chem. Rev. 104, 4419-4462 (2004).
5. Liu K., Zhuo D., Lee H.-W., Liu W., Lin D., Lu Y., Cui Y. Extending the life of lithium-based rechargeable batteries by reaction of lithium dendrites with a novel silica nanoparticle sandwiched separator. Advanced Materials, 29(4), 1603987. doi:10.1002/adma.201603987
6. Darcy E. et al. Metallized plastic current collectors //International Battery Safety Workshop (IBSW). – 2019. – №. JSC-E-DAA-TN69168
7. Darcy E. Investigating Polymer Current Collectors for Isolating Internal Shorts in High Energy Cells //Advanced Automotive Battery Conference. – 2024. WBS: 804911.02.05.3535.23
8. Jiang J., Dahn J. R. ARC studies of the thermal stability of three different cathode materials: LiCoO₂; Li[Ni_{0.1}Co_{0.8}Mn_{0.1}]O₂; and LiFePO₄, in LiPF₆ and LiBoB EC/DEC electrolytes. Electrochemistry Communications, 6(1), 39–43. DOI:10.1016/j.elecom.2003.10.011
9. Jung S., Jung H.-Y. Charge/discharge characteristics of Li-ion batteries with two-phase active materials: a comparative study of LiFePO₄ and LiCoO₂ cells. International Journal of Energy Research, 40(11), 1541–1555. doi:10.1002/er.3540
10. Feng X., Ouyang M., Liu X., Lu L., Xia Y., He X. Thermal runaway mechanism of lithium-ion battery for electric vehicles: A review. Energy Storage Materials, 10, 246–267. doi:10.1016/j.ensm.2020.05.013
11. Zhang W., Wu L., Du J., Tian J., Li Y., Zhao Y., Cheng S. Fabrication of a microcapsule extinguishing agent with a core-shell structure for lithium-ion battery fire safety. Materials Advances. DOI:10.1039/D1MA00343G

LITHIUM-ION BATTERY PROTECTION STAGES

Kornilov D.Y.¹, Morozov A.N.², Slepov S.N.³, Abramkin R.V.⁴

Keywords: small-sized power sources, fire safety, emergencies, thermal runaway, ignition, explosion, separator, current collectors, cathode material, combustion process.

Research method: analysis and synthesis, which allows a comprehensive assessment of the prospects for the introduction of new methods of protection of lithium-ion batteries.

The purpose of the study: to study the causes of fire and explosion of lithium-ion batteries, as well as new methods of their multi-level protection to ensure safe operation.

Result: In the course of the study, the processes occurring in a lithium-ion battery in the process of charging and discharging were studied. The analysis of the causes of fires and explosions of lithium-ion batteries was carried out on the example of products of national economic purpose. It was established that the main cause is an internal short circuit that occurs as a result of the rupture of the separator due to the growth of dendrites during overcharging. The essence of the process of thermal runaway, which leads to the ignition of a lithium-ion battery, is described. Proposals have been developed aimed at improving the safety of operation of lithium-ion batteries, consisting in the improvement of separators, the replacement of aluminum and copper foil used as current collectors of lithium-ion batteries with a lavsan film metallized with copper or aluminum, as well as the use of microcapsules made of low-melting composite polymer, inside which the extinguishing agent is contained.

Practical value: the comprehensive use of the proposed methods of protecting lithium-ion batteries can significantly increase the safety of their operation - minimize the risk of explosion or fire in the event of thermal runaway.

References

1. Kolly J. M., Panagiotou J. The Investigation of a Lithium-Ion Battery Fire Onboard a Boeing 787 by the US National Transportation Safety Board // <https://telegra.ph/Boeing-787-pdf-03-25> (дата обращения 10 апреля 2025 г)
2. Loveridge M. J., Remy G., Kourra N., Genieser R., Barai A., Lain M. J., Guo Y., Amor-Segan M., Williams M. A., Amietszajew T. et al. Looking Deeper into the Galaxy (Note 7). Batteries 2018 <https://doi.org/10.3390/batteries4010003>
3. Ron Amadeo Two different production problems from two different suppliers killed the Note 7 Ars Technica 2017 <https://arstechnica.com/gadgets/2017/01/galaxy-note-7-investigation-blames-small-battery-cases-poor-welding/>
4. P. Arora, Z. J. Zhang, Battery separators. Chem. Rev. 104, 4419-4462 (2004).
5. Liu K., Zhuo D., Lee H.-W., Liu W., Lin D., Lu Y., Cui Y. Extending the life of lithium-based rechargeable batteries by reaction of lithium dendrites with a novel silica nanoparticle sandwiched separator. Advanced Materials, 29(4), 1603987. doi:10.1002/adma.201603987
6. Darcy E. et al. Metallized plastic current collectors //International Battery Safety Workshop (IBSW). – 2019. – №. JSC-E-DAA-TN69168
7. Darcy E. Investigating Polymer Current Collectors for Isolating Internal Shorts in High Energy Cells //Advanced Automotive Battery Conference. – 2024. WBS: 804911.02.05.3535.23
8. Jiang J., Dahn J. R. ARC studies of the thermal stability of three different cathode materials: LiCoO₂; Li[Ni_{0.1}Co_{0.8}Mn_{0.1}]O₂; and LiFePO₄, in LiPF₆ and LiBoB EC/DEC electrolytes. Electrochemistry Communications, 6(1), 39–43. DOI:10.1016/j.elecom.2003.10.011
9. Jung S., Jung H.-Y. Charge/discharge characteristics of Li-ion batteries with two-phase active materials: a comparative study of LiFePO₄ and LiCoO₂ cells. International Journal of Energy Research, 40(11), 1541–1555. doi:10.1002/er.3540
10. Feng X., Ouyang M., Liu X., Lu L., Xia Y., He X. Thermal runaway mechanism of lithium-ion battery for electric vehicles: A review. Energy Storage Materials, 10, 246–267. doi:10.1016/j.ensm.2020.05.013
11. Zhang W., Wu L., Du J., Tian J., Li Y., Zhao Y., Cheng S. Fabrication of a microcapsule extinguishing agent with a core-shell structure for lithium-ion battery fire safety. Materials Advances. DOI:10.1039/D1MA00343G

¹Denis Yu., Dr.Sc., Deputy General Director of AVEX JSC, Scientific Supervisor for Chemical Power Sources, Moscow. E-mail: d.kornilov@avecs.ru

²Alexey N. Morozov, 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: alexy.morozov@yandex.ru

³Sergey N. Slepov, Ph.D., Associate Professor, Senior Researcher of the 16th Central Research and Testing Institute of the Ministry of Defense of Russia, Moscow Region, Mytishchi. E-mail: slepov69@mail.ru

⁴Roman V. Abramkin, Ph.D., Deputy Head of the Department of the Federal State Budgetary Institution "16th Central Research and Testing Institute" of the Ministry of Defense of Russia, Moscow Region, Mytishchi. E-mail: avg62rus@rambler.ru

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 28/06/2025.

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

MILITARY CONTROL, COMMUNICATION AND NAVIGATION SYSTEMS

DIGITAL TECHNOLOGIES IN DEVELOPMENT JSC "STC VSP "SUPERTEL DALS"

Lukin I. A., Melnikov S. V. 2

ULTRA-WIDEBAND ANTENNAS FOR PORTABLE AND MANPACK RADIO STATIONS OF TACTICAL UNITS

Alshenetsky V. A., Kruglov A. S. 6

FEATURES OF THE OPERATION OF A PROMISING HF MILITARY RADIO COMMUNICATION SYSTEM IN THE MODE OF A SPECIALIZED QUASI-MESSENGER

Shishkin Yu. V. 22

METHODOLOGY FOR INCREASING THE NOISE IMMUNITY OF DECAMETER COMMUNICATION LINES BASED ON MULTIPLE RECEPTION OF LINEAR FREQUENCY MODULATION SIGNALS

Smetanin S. S. 30

SYSTEM ANALYSIS, SIMULATION OF COMBAT OPERATIONS AND MILITARY SYSTEMS

PARTICULAR MODELS OF PREVENTIVE FAILURE IDENTIFICATION: CUMULATIVE AND PROBABILISTIC-GRAPH

Budko P. A., Yuzhakova A. A. 35

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR GROUP CONTROL OF MILITARY ROBOTIC COMPLEXES

Khudainazarov Yu. K., Sokolov A. P., Ermolaev V. E. 42

INFORMATION CONFRONTATION IN THE MILITARY SPHERE

VISUAL IMAGES AS A TOOL OF INFLUENCE IN INFORMATION WARFARE IN THE MILITARY SPHERE

Sukhinin V. V. 59

MILITARY ELECTRONICS, EQUIPMENT FOR MILITARY COMPLEXES

ISSUES OF TAKING INTO ACCOUNT ATMOSPHERIC AND METEOROLOGICAL FACTORS IN THE CONSTRUCTION OF OPEN ATMOSPHERIC SYSTEMS OPTICAL COMMUNICATION

Mammadov A. M., Ibragimova A. E. 65

LITHIUM-ION BATTERY PROTECTION STAGES

Kornilov D. Y., Morozov A. N., Slepov S. N., Abramkin R. V. 70

TELECOMMUNICATIONS AND COMMUNICATIONS

№3 (06) 2025

DOI: 10.21681/3034-4050



WWW.TELEMIL.RU
EDITOR.TIS@YANDEX.RU