

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 входит в Российский индекс научного цитирования, публикует статьи по специальностям перечня научных специальностей группы 6.0.0

Главный редактор

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

Шеф-редактор

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

Попечительский совет

РУБИС Александр Анатольевич, к.т.н., заместитель начальника Главного управления связи ВС РФ по вооружению (председатель)

ПАНКОВ Роман Николаевич, к.ист.н., начальник ФГБУ «16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт»

ХАРЧЕНКО Евгений Борисович, к.соц.н., доцент (секретарь)

Редакционная коллегия

АЧКАСОВ Николай Борисович, д.в.н., профессор, Санкт-Петербург

БЫЧКОВ Антон Вячеславович, д.в.н., доцент, Санкт-Петербург

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

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

ГРУДИНИН Игорь Владимирович, д.в.н., профессор, Санкт-Петербург

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

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

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

КУЗИН Павел Игоревич, к.т.н., доцент, Санкт-Петербург

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

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

НОВИКОВ Евгений Александрович, д.т.н., доцент, Санкт-Петербург

ПРИВАЛОВ Андрей Андреевич, д.в.н., профессор, Санкт-Петербург

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

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

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

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

ФЕДЮНИН Павел Александрович, д.т.н., профессор, Воронеж

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

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

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

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, С. С. Игнатов – верстка, А. В. Матюшин – маркетинг и подписка

Подписано к печати 15.04.2026 г.

Общий тираж 120 экз. Цена свободная

Адрес: 141006, г. Мытищи Московской обл., 1-й Рупасовский пер.

E-mail: editor.tis@yandex.ru, тел.: +7 (985) 939-75-01

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

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТРОПОСФЕРНОЙ СВЯЗИ В СИСТЕМЕ ВОЕННОЙ СВЯЗИ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ

Иванов В. Г., Лукьянчик В. Н., Баширов С. Ю..... 2

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЛГОРИТМА ПОДСТРОЙКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ АДАПТИВНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Цветков Д. Е., Федоров П. Н..... 13

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПАЙПЛАЙНОВ С ДИНАМИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРОЙ И АГЕНТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Лукашенко В. И., Изотов Д. Ю..... 21

МЕТОД КОНТЕКСТНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ СОБЫТИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ИОТ-ПОДСИСТЕМЫ

Андреев И. А., Липатников В. А., Тарасенко С. Е..... 29

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОИСКА И ИДЕНТИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ ДЛЯ SDR НА ОСНОВЕ ПЛАТФОРМЫ GNU RADIO

Баймаков Д. А., Ткачев Д. Ф., Воробьев П. В..... 40

ВОЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ

АЛГОРИТМЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИЕЙ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА МАЛОГО КЛАССА

Козирацкий А. Ю., Чёнгин А. В., Гревцев А. И..... 49

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМАХ СВЯЗИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Яговитов Д. С., Вдовченко Н. Ю..... 57

АРХИТЕКТУРА СЕТИ ОТКРЫТОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ, ПОСТРОЕННОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПИРИНГОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЕЕ ЗАЩИТЕ

Ашлапов М. В., Елисеев Д. И..... 64

ВОЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, АППАРАТУРА КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ОБНАРУЖЕНИЕ ДРОНОВ ПРОТИВНИКА С ПОМОЩЬЮ ПОИСКОВОЙ АППАРАТУРЫ, УСТАНОВЛЕННОЙ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

Ахмедов Э. М., Асадов Х. Г., Алиева Х. С..... 69

ОПТИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРЕДОВЫХ ПУНКТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМ СВЯЗИ И АСУ

Курочка В. С., Колодяжный П. А., Юшин А. И..... 74

РОЛЬ МАСКИРОВКИ И ИМИТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Агафонов Д. А., Козырев В. В., Лапин Г. В..... 83

НАША ИСТОРИЯ

ОЦЕНКА РАБОТЫ ВОЕННО-ПОЛЕВЫХ СРЕДСТВ ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Шенгура В. Н..... 89

СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТРОПОСФЕРНОЙ СВЯЗИ В СИСТЕМЕ ВОЕННОЙ СВЯЗИ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ

Иванов В. Г.¹, Лукьянчик В. Н.², Баширов С. Ю.³

DOI:10.21681/3034-4050-2026-3-2-12

Ключевые слова: система связи, тропосферная связь, военная связь, тропосферная станция, загоризонтное распространение, развитие связи.

Аннотация

Цель работы: проведение ретроспективного анализа развития тропосферной связи в Вооруженных силах, выработка практических предложений по развитию средств тропосферной связи в настоящее время с учетом технологического развития и опыта организации связи в специальной военной операции.

Метод исследования: методологическую основу исследования составила общая теория систем, теория военной связи, теория открытых систем с использованием методов системного анализа.

Результаты исследования: проведен анализ развития средств тропосферной связи в Вооруженных силах СССР, их состояние в Российской Федерации и в армиях стран НАТО в настоящее время. Выработаны предложения по способу применения «точка-многоточка» и основным направлениям совершенствования военных тропосферных станций.

Научная новизна заключается в разработке обоснованных направлений развития средств тропосферной связи с учетом требований по обеспечению управления и технологического развития средств военной связи.

1. Введение

Развитие способов и средств высокотехнологичной вооружённой борьбы требует постоянного развития и совершенствования систем управления войсками и оружием, её технической основы – систем связи различного уровня управления.

Современные системы связи в условиях угрозы и ведения масштабных и войн и вооружённых конфликтов с применением высокоточного оружия, оружия массового поражения, в том числе и на новых физических принципах, должны гарантированно обеспечивать обмен больших объемов информации органам военного управления в любых условиях обстановки. С учётом прогнозируемого большого территориального размаха районов боевых действий, сложного рельефа местности, ожидаемого повреждения большинства кабельных линий связи, к системам беспроводной связи предъявляются новые требования в части значительного увеличения длины линий, интервалов связи, пропускной способности, а также к развед- и помехозащищенности.

Для обеспечения требований по организации беспроводной связи дальней связи в войсках

связи Вооруженных Сил применяются тропосферные средства связи, при этом их тактико-технические характеристики существенно уступают современным образцам тропосферных станций, применяемых в армиях стран НАТО. При этом анализ применения средств военной связи показывает [1, 2], что перенос основной нагрузки мобильных систем военной связи в космос (активное применение средств спутниковой связи) может негативно сказаться на управлении войсками в случае уничтожения спутников, в итоге управление группировками в удаленных районах и действующих на больших расстояниях будет существенно затруднено. И тропосферная связь может стать резервным средством связи. Следовательно, необходимо организовывать и обеспечивать дальнейшее развитие и совершенствование средств и комплексов тропосферной связи, обеспечивающих устойчивую связь в условиях действий войск (сил) на большом удалении, а также в условиях сложного рельефа и деструктивных воздействий противника.

В условиях сложной политической обстановки в мире, экономических санкций при создании новых средств и комплексов связи не должно

1 **Иванов Василий Геннадьевич**, доктор военных наук, доцент, профессор кафедры информатики и вычислительной техники факультета (инженерного) Академии гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий им. генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика. г. Химки, Россия. E-mail: v.ivanov@agz.50.mchs.gov.ru

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

3 **Баширов Сергей Юрьевич**, заместитель начальника управления Главного управления связи Вооруженных Сил Российской Федерации. г. Москва, Россия. E-mail: wasj2006@yandex.ru

быть ошибок в принятии решения, какие средства связи нужны войскам в современной войне, при этом актуальным вопросом является всесторонняя историческая реконструкция развития и изучения накопленного многолетнего опыта разработки и организации производства отечественных образцов средств тропосферной связи военного назначения и их активное применения в период с 1960 по 2000 г.

Тропосферная связь, как новый вид военной связи, имеет относительно короткую историю. В СССР работы по разработке технологий тропосферной связи стартовали с первых теоретических и экспериментальных изысканий, посвящённых изучению дальнего загоризонтного распространения радиоволн в дециметровом диапазоне [3].

На основании результатов комплексного научно-исследовательского анализа была сформулирована теоретическая база процессов запредельного распространения ультракоротких волн в тропосфере, обусловленных рассеятельным и отражательным взаимодействием радиосигнала с неоднородностями нижних слоев атмосферы. Установленная регулярность, в противовес эпизодическому характеру явления, подтверждает стабильность тропосферной связи, что открывает перспективы для проектирования высокоскоростных систем за горизонтом. Данные системы способны обеспечить значительно большие дистанции передачи по сравнению с существующими радиорелейными линиями прямой видимости. Следовательно, тропосферная связь имеет существенное преимущество перед радиорелейной связью прямой видимости, поскольку обеспечивает высокоскоростную связь между ПУ без дополнительных ретрансляций на значительно (в 3–6 раз) большем расстоянии – до 200 км, включая труднодоступные и сильнопересечённые территории, в том числе и в районах Крайнего Севера. В случае,

когда требуется обеспечить управление на расстоянии, превышающем интервал связи, тропосферные станции могут работать в режиме ретрансляции информации.

Технология тропосферной связи основана на отражении сигнала от тропосферы – нижнего слоя атмосферы (высотой в полярных областях 8–10 км, в умеренных широтах – 10–12 км, на экваторе – 16–18 км), вследствие чего возможно распространение волн за пределы горизонта (рис. 1) [3, 4].

При дальнем регулярном тропосферном распространении определяющую роль играют неоднородности Q тропосферы в объеме V , образованном при пересечении телесных углов характеристик направленности передающей и приемной антенн (рис. 1). Тропосферные неоднородности действуют как естественные пассивные ретрансляторы, вторичное излучение которых можно характеризовать некоторой диаграммой направленности. Для компенсации ослабления радиосигнала в тропосфере требуется наличие значительного запаса мощности передающих устройств, высокой чувствительности приемников и большого коэффициента усиления антенн для обеспечения удовлетворительного соотношения сигнал/шум на приемном конце радиолинии [3, 4].

Тропосферная связь обеспечивается ценой больших энергетических затрат (использованием мощных передатчиков, больших остро-направленных антенн и чувствительных приемников), так как эффективность рассеяния и отражения УКВ неоднородностями тропосферы весьма низка.

Особенностью тропосферной связи являются также суточные и сезонные изменения уровня высокочастотного сигнала на трассах. Кроме быстрых и медленных замираний напряженность поля имеет отчетливо выраженную зависимость от времени суток и времени года.

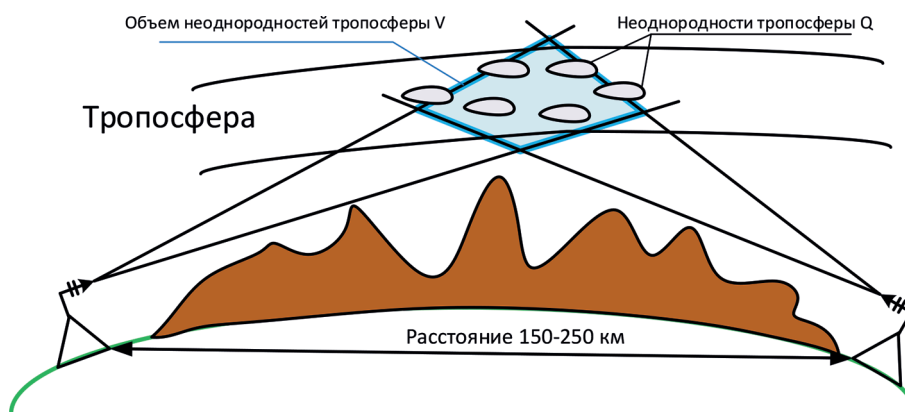


Рис. 1. Принцип тропосферной связи

Необходимо отметить, что на интервале тропосферной линии днем уровень энергии сигнала в точке приема ниже, чем ночью. Суточные изменения мощных сигналов проявляются значительно больше, чем слабых сигналов.

Учитывая особенности дальней тропосферной связи с учетом рассеяния и отражения волн и другие факторы, оказывавшие влияние на распространение высокочастотного сигнала, проводимые научные исследования и опытно-конструкторские работы, а также ведущиеся отечественные разработки и за рубежом в области создания тропосферных средств в середине XX столетия способствовали появлению разработок в области создания тропосферных станций в СССР.

Анализ развития средств военной тропосферной связи [1,2] позволил определить основные этапы ее развития:

1-й этап (аналоговый) (1959–1974) с принятием на вооружение первых отечественных военных аналоговых тропосферных станций Р-121, Р-122, Р-133, Р-408, Р-410;

2-й этап (аналого-цифровой) (1974–1986) с принятием на вооружение первой аналого-цифровой станции Р-412 в 1974 г.;

3-й этап (начальный цифровой) (1986–2000) с принятием на вооружение тропосферных станций Р-417, Р-423-1, Р-423-2;

4-й этап (цифрового развития) (2000 г. – по настоящее время) с принятием на вооружение тропосферных станций Р-423АМ.

Первые тактико-технические задания на проведение опытно-конструкторских работ по

созданию средств тропосферной связи были подготовлены [1, 2].

Анализ литературы [1, 2, 3] показал, что развитие тропосферной связи осуществлялось под руководством начальника связи Войск противовоздушной обороны СССР, который поставил задачу на проведение первых опытно-конструкторских работ (ОКР) по созданию средств тропосферной связи, и уже в период 1957–1959 гг. были выполнены ОКР по созданию первых отечественных военных средств тропосферной связи Р-121 (шифр «Фрегат») и Р-122 (шифр «Лодка») (рис. 2), эксплуатация которых выявила много недостатков, что позволило в короткие сроки создать более совершенные тропосферные станции.

В 1962 году была принята на вооружение новая тропосферная станция Р-133 (шифр «Корвет»), работающая в диапазоне частот 4257–4382 МГц и обеспечивающая устойчивую связь на дальности связи 150–250 км, а также многоканальная станция Р-408 (шифр «Баклан»), которая обеспечивала 6 каналов в диапазоне частот на дальности 120 км, которая выпускалась в мобильном (Р-408М) и стационарном (Р-408С) исполнении (рис. 3).

Набирающая популярность тропосферная связь обеспечила в период 1964–1967 гг. проведение опытно-конструкторских работ (ОКР) по созданию Р-410 (шифр «Атлет») (рис. 3). Станция обеспечивала работу в диапазоне 476–525 МГц и 576–625 МГц и позволяла строить одноинтервальные линии протяженностью 150–200 км и девятиинтервальные линии протяженностью до 1200 км.



Тропосферная радиорелейная станция Р-121 (шифр «Фрегат»)

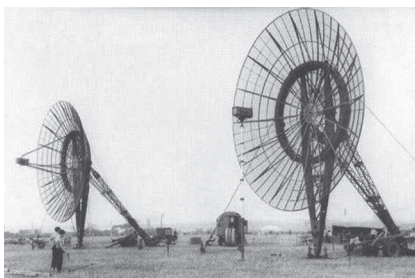


Тропосферная радиорелейная станция Р-122 (шифр «Лодка»)

Рис. 2. Первые военные тропосферные станции СССР



Тропосферная станция Р-133
(шифр «Корвет»)



Тропосферная станция Р-408
(шифр «Баклан»)



Тропосферная станция Р-410
(шифр «Атлет»)

Рис. 3. Военные тропосферные станции СССР

На основе опыта применения тропосферных станций, постоянно осуществлялись работы по повышению их тактико-технических характеристик с целью увеличения канальной емкости и уменьшения массогабаритных показателей. Так в период 1970–1974 гг. на основе Р-410 была разработана и принята на вооружение тропосферная станция Р-420 (шифр «Атлет-Д»), в которой была увеличена мощность передатчиков в 7 раз, применена новая питающая электро-станция на 100 кВт, что позволило увеличить дальность интервала в 1,6 раза и составила 400 км, а протяжённость тропосферной линии связи достигла 2500 км.

Для обеспечения устойчивой связи в интересах Объединённых вооружённых сил государств Варшавского договора потребовалась разработка многоканальной высокоскоростной станции тропосферной связи нового типа. Эти работы были связаны с необходимостью повышения разведзащищённости линий связи и их безопасности, так как спутниковый ресурс связи был ограничен по количеству выделяемых каналов и по пропускной способности [2]. И уже в 1974 году началось серийное производство самой распространённой аналого-цифровой тропосферной станции Р-412 (шифр «Тропа») 4438–4555 МГц и 4630–4750 МГц, которая выпускалась в нескольких модификациях: Р-412А, Р-412Ф, Р-412Б, Р-412С (рис. 4). Р-412 обеспечивала построение одноинтервальной линии связи до 200 – 250 км на скоростях передачи цифрового потока: 1,2; 2,4; 4,8; 9,6; 48 кбит/с. Диаметр двух антенн был уменьшен до 2,5 м, а мощность на выходе передающего устройства увеличена до 600 Вт.

К концу семидесятых годов был создан парк второго поколения тропосферных станций и сформировалась концепция их использования в полевой и стационарной системе связи Вооружённых сил:

- малоканальные – для построения сетей прямой связи (сетей командования) в тактическом, оперативно-тактическом и оперативном

звеньях управления всех видов Вооружённых сил;

- многоканальные – для построения опорных сетей и многоинтервальных линий в оперативном и стратегическом звеньях управления всех видов Вооружённых сил, а также стационарных территориальных сетей связи.

В 1980 году была разработана и в 1986 году принята на вооружение мобильная 60-канальная тропосферная станция для обеспечения связи в стратегическом звене управления Р-417 (шифр «Багет»), применение которой позволило осуществлять построение многоинтервальной тропосферной линии связи до 2000 км с интервалами по 200–250 км с канальной скоростью 480 кбит/с (рис. 5).



Рис. 4. Тропосферная станция Р-412



Рис. 5. Тропосферная станция Р-417



Тропосферная станция Р-423-1



Тропосферная станция Р-423-2А

Рис. 6. Тропосферные станции семейства «Бриг»

В рамках ОКР была разработана многоканальная цифровая тропосферная станция Р-423-1 (шифр «Бриг-1») (рис. 6) оперативного звена управления с пропускной способностью от 48 кбит/с до 2 Мбит/с.

Развитие тропосферной станции Р-423-1 осуществлялось в рамках ОКР «Бриг-2», в 1985 г. первая станция Р-423-2А комплекса «Бриг-2А» успешно прошла государственные испытания и была принята на вооружение в 1988 г.

На базе тропосферной станции Р-423-2А было разработано 9 модификаций (5 – для Сухопутных войск, 2 – для РВСН, 2 – для войск ПВО) [1, 2].

Благодаря применению средств и технологий тропосферной связи значительно расширились возможности систем управления и связи соединений и сил СССР при ведении боевых действий, а также в труднодоступных и отдалённых районах страны и за её пределами. Об этом свидетельствует практика боевого применения ограниченного контингента советских войск в условиях высокогорной и пересечённой местности в Демократической Республике Афганистан (1979–1989 гг.) [2].

В 90-х годах прошлого столетия развитие военной тропосферной связи не осуществлялось: НИИ, КБ и предприятия промышленности, не имея заказов от Министерства обороны, закрыли ранее начатые работы.

В первой половине 2000-х годов в Красноярске (ФГУП «НПП «Радиосвязь») была проведена модернизация ТРССт Р-423-2А по расширению рабочего диапазона частот, модернизации передатчика мощностью 300 Вт, увеличению канальной скорости до 2 Мбит/с. На ее основе был разработан комплекс «Сосник» (контейнерный вариант ТРССт Р-423-АМК (2005 г.), малогабаритная перевозимая ТРССт Р-423-ПМ (2008 г.) и вариант ТРССт на автомобильном шасси Р-423-АМ (2009 г.) (рис. 7).

Все тропосферные станции комплекса «Сосник» работают в диапазоне от 4400 до 5000 МГц с разбивкой на два диапазона: от 4400 до 4630 МГц и от 4770 до 5000 МГц. Для борьбы с быстрыми замираниями кроме последовательного многочастотного сигнала используется пространственно-разнесённый приём. Станции обеспечивают передачу группового потока со скоростями 64, 256, 512 и 2048 кбит/с.

Рассматривая мобильные тропосферные станции, нельзя не упомянуть о созданной в 1963 году стационарной ТРССт «Горизонт-М» и в последующем ТР-120 (рис. 8) с системой «Аккорд» для борьбы с быстрыми замираниями сигнала методом частотного разнесения (за счет одновременной передачи информации на разных эквидистантных частотах с последующим сложением) [1]. Протяженность интервала связи составляла – 300–400 км, линии – более 10000 км.



Р-423АМК



Р-423ПМ



Р-423АМ

Рис. 7. Тропосферные станции семейства «Сосник»



Рис. 8. Тропосферная станция TP-120

Сравнительные характеристики тропосферных станций различных поколений приведены в таблице 1.

Представленный ретроспективный анализ тропосферных станций показал, что базовыми недостатками современных тропосферных средств связи являются: отсутствие портативных и малогабаритных решений; большие габариты аппаратных машин, демаскирующие их на местности; низкая пропускная способность; большое время развертывания и вхождения в связь.

Таблица 1.

Сравнительные характеристики тропосферных станций

Тип станции	Диапазон частот, МГц	Дальность связи на интервале, км	Число каналов / скорость передачи, кбит/с	Транспортные единицы	Мощность передатчика, Вт
Горизонт-М	0,821–0,853; 0,969–0,997	120–450	60 ТФ	стационарная	2×3000, 2×5000
TP-120	0,821–0,853; 0,969–0,997	200–300	120 ТЧ	стационарная	2×5000
P-133	3200–3400	150–200	2ТФ	«Урал-375А» – 1	2×1000
P-408М	475–625	до 180	24 ТФ	«ЗИЛ-157» – 4	2×1000
P-410М	476–525; 576–625	100–160	12–24 ТФ	«ЗИЛ-131» – 3, «УРАЛ-375» – 1, прицепы – 4	2×700
P-412	4200–4440	150	3–6 ТФ; до 48 кбит/с	«Урал-375Д» – 2, «ЗИЛ-131» – 1	2×1000
P-412	4200–4440	150	3–6 ТФ; до 48 кбит/с	«Урал-375Д» – 2, «ЗИЛ-131» – 1	2×1000
P-417	4435–4555; 4630–4750	до 390	60 ТЧ; до 2048 кбит/с	«КАМАЗ-4310» – 5, прицепы – 4	4×1500
P-420 P-420М	476–525; 576–625	до 420	24 ТФ или 480 кбит/с	«Урал-4320» – 4, «ЗИЛ-131» – 2, прицепы – 4	2×5000
P-423-1М	4435–4555; 4630–4075	300–150	48–2048 кбит/с	«КАМАЗ-4310» – 3, прицепы – 2	2×1500
P-423-2А	4435–4555; 4630–5000	до 145	до 480 кбит/с	«КАМАЗ-4310» – 1, прицеп – 1	2×300
P-423-2Б	4435–4555; 4630–5000	до 90	до 240 кбит/с	МТ-ЛБу	1×300
P-423-2БТ	4435–4555; 4630–5000	до 90	до 240 кбит/с	БТР-80	1×300
P-423-2Р	4435–4555; 4630–5000	220–200	2,4–9,6 кбит/с	МАЗ-543В	2×300
P-423-2УС	4435–4555; 4630–5000	300–140	2,4–240 кбит/с	стационарная	4×1000
P-423-АМК	4400–5000	170–125	256–2048 кбит/с	контейнер	2×300
P-423-АМ	4400–5000	170–125	256–2048 кбит/с	«Урал-4320»	2×300
P-423-ПМ	4400–5000	145–105	64–256 кбит/с	2 модуля, общ. масса ≈ 180 кг	1×100

Также тропосферные средства связи широко используются в зарубежных странах таких как США, Великобритания, Норвегия, Франция, Япония, Китай, при этом совершенными являются средства тропосферной связи США. Технической основой повышения эффективности перспективных средств тропосферной связи является стремление к использованию современных информационных радиотехнологий в тропосферной связи [4, 5].

В настоящее время в армиях развитых стран НАТО активно осуществляется развитие и применение мобильных военных тропосферных станций (табл. 2).

Учитывая достоинства средств тропосферной связи, их роль, место и значение при организации связи для управления войсками необходимо наряду с заданием оперативно-технических и тактико-технических требований, обосновать перспективный унифицированный цифровой комплекс, сочетающий в себя возможности для работы в сложных условиях комплексного противодействия.

Разработку и создание тропосферных станций нового поколения необходимо осуществлять из концептуальных положений развития системы связи Вооруженных Сил с учетом опыта организации связи в ходе СВО по обеспечению

Таблица 2.

Сравнительные характеристики тропосферных станций НАТО

Тропосферная станция COMET CS67PLUS	Тропосферная станция AN/TRC-245	Автоматический тропосферный терминал TROPOLINE 240
		
Страна-изготовитель		
США	США	Норвегия
Диапазон частот		
нижний: 4,40 ГГц – 4,65 ГГц, верхний: 4,75 ГГц – 5,00 ГГц	нижний: 4,40 ГГц – 4,65 ГГц, верхний: 4,75 ГГц – 5,00 ГГц	4,4–5,0 ГГц
Канальная скорость		
946 Кбит/с – 210 Мбит/с	100 Мбит/с – 210 Мбит/с	до 200 Мбит/с
Дальность связи		
до 250 км	до 200 км	до 150 км
Время развертывания		
Один оператор за 15 мин.	Двумя операторами за 30 мин.	Двумя операторами за 20 мин.
Антенна		
С сегментированным отражателем из углеродного волокна диаметром 2,4 м	Параболический отражатель с прямым фокусом 2,4 м. в надувном радиолокаторе	С сегментированным отражателем из углеродного волокна диаметром 2,4 м со встроенной пневматической мачтой
Особенности		
Для обеспечения максимальной пропускной способности используется технология адаптивного кодирования и модуляции на основе глубокого обучения (Adaptive Coding Modulation).	Для использования в суровых условиях, обеспечивает высокопроизводительную тактическую связь по прямой видимости (LOS) и за пределами линии видимости (BLOS)	Интеллектуальный блок управления с датчиками ориентации для автоматического наведения

связи в сложной помеховой обстановке в условиях действия средств РЭБ противника, быстрого обнаружения станций (аппаратных) и их излучения, применения высокоточных средств поражения. Следовательно, разрабатывать ТРСт нужно с учётом технологического развития связи и способов организации связи в видах и родах ВС РФ в границах территории РФ для повседневной деятельности, на особый период и в ходе ведения боевых действий с возможностью их применения в экстремальных условиях. В различных вариантах исполнения, для полевого – мобильные перевозимые в автомобилях типа «Буран» или «Тигр» и в стационарном – с возможностью их размещения на стационарных объектах в защищённых сооружениях с учетом обеспечения их живучести.

В основе технологических решений необходимо найти такие, которые будут способны удовлетворить требования по потребляемой мощности электроэнергии, массогабаритным показателям, размерам АФУ, частотному диапазону, высокой пропускной способности и простоте применения. В технологическую основу ТРСт нужно закладывать перспективные технологии, например: технологии помехозащиты адаптивной компенсации помех (АКП) и фазоманипулированных широкополосных сигналов (ФМ-ШП) и метод режекции (подавления мешающих сигналов), использование режима временного дуплекса, использования широкополосных неперестраиваемых усилителей мощности, методы модуляции несущего колебания – ВРК-ОФ-Мн-ШПС, ЧВМ-4, ДОФМ (ОФМ) [6, 7].

Важное значение имеет и такое техническое решение, как применение комбинированного разнесения: частотного и пространственного, то есть по существу технологии MIMO с возможностью передачи нескольких потоков данных

одновременно с использованием множества антенн [8, 9]. При этом образуются статистически независимые каналы, которые эффективно разделены друг от друга. Применение данной технологии имеет ряд важных преимуществ (достоинств), которые делают её незаменимой в современных системах военной связи, в том числе и при создании перспективных средств тропосферной связи. Основными из них являются:

- увеличение пропускной способности за счет передачи нескольких потоков данных одновременно с использованием нескольких антенн и тем самым многократно увеличивается пропускная способность канала связи, что приводит к более быстрой и эффективной передаче данных;
- повышение скорости передачи данных благодаря возможности одновременной трансляции нескольких потоков данных (технология MIMO);
- улучшенная надёжность связи при использовании нескольких приёмопередающих антенн в конструкции. Это позволяет снизить вероятность возникновения ошибок при передаче данных;
- применение MIMO помогает эффективно использовать доступный спектр частот для передачи данных и тем самым сокращает время передачи.

Особую значимость представляют цифровые антенные решётки (ЦАР), с помощью которых возможно проводить электрическое сканирование несколькими лучами и на различных частотах. ЦАР обеспечивает получение высокой направленности излучения с помощью объединённых в систему слабонаправленных антенных элементов (АЭ) (вибраторов, щелей, спиралей и т. п.), возбуждаемых токами с заданным

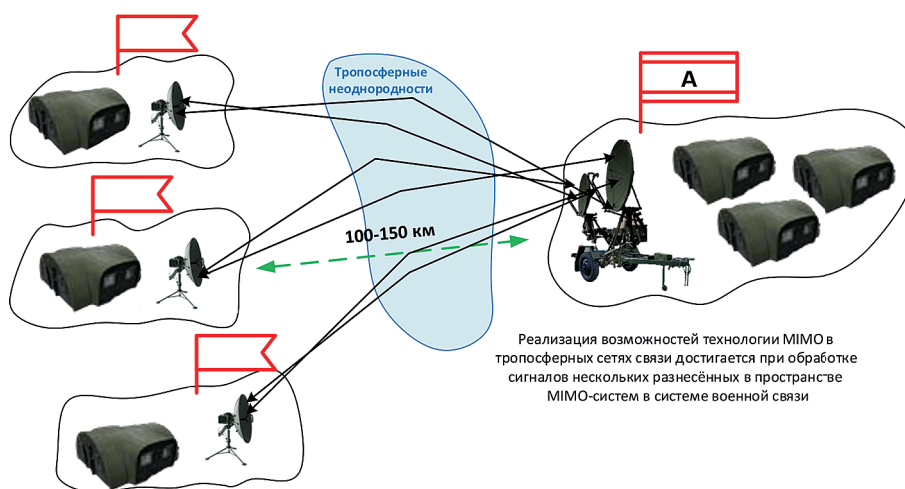


Рис. 9. Способ организации тропосферной связи на основе технологии MIMO

соотношением амплитуд и фаз [4, 6, 7]. ЦАР позволяет изменять направления излучения главного лепестка электронным способом, за счет перераспределения токов и фаз в АЭ. Структура построения ЦАР является унифицированной и инвариантной к аппаратной зависимости процедур обработки сигналов и упрощает их адаптацию под определенный стандарт функционирования с заменой лишь программного обеспечения.

Цифровое формирование лучей диаграммы направленности позволяет эффективно реализовать динамическую оптимизацию обслуживаемой зоны покрытия на основе оперативного перенацеливания цифровых приемных лучей по группам корреспондентов в зависимости от территориального распределения абонентов связи [4].

Применение ЦАР в сочетании с принципом ММО позволяет решить задачу функционирования ТРСт в условиях многолучевого распространения радиоволн и связанных с ним явлений, а также обеспечить высокую скорость передачи данных. Основным условием применения технологии ММО в ТРСт является стационарность среды распространения радиоволн на заданном интервале времени. Возможным шагом к реализации ТРСт с ЦАР является применение когнитивной технологии, когда мощность передатчика расходуется на самую оптимальную частоту, на которой в данный момент наилучшее прохождение на трассе. Рабочая частота как бы «блуждает» в некоторой полосе частот. Достаточно использовать полосу 32 МГц (в диапазоне 4,4–5,0 ГГц), в которой размещается 8 независимых частот с шагом 4 МГц, через каждые 10 мс определяется самая «оптимальная» из этих восьми частот, и очередной пакет информации передается на этой частоте. В когнитивной ТРСт непрерывно анализируются условия распространения радиоволн на трассе с определением самой оптимальной частоты.

Реализация высокотехнологичных ТРСт может быть решена на основе применения метода мультиплексирования с ортогональным частотным разделением (OFDM) для построения широкополосных систем цифровой радиосвязи по каналам с многолучевым распространением сигналов, которая позволяет эффективно бороться с частотно-селективными замираниями и обеспечивать высокую спектральную эффективность, скорость и достоверность передачи информации, устойчивость к узкополосным помехам [9, 10]. Наиболее перспективным вариантом из OFDM для тропосферных систем связи является с кодовым разделением каналов

COFDM. Применение в ТРСт OFDM модема с турбо-кодированием со скоростью от 1/2 до 1/5 позволит реализовать одновременное пространственное и частотное разнесение на двух несущих частотах (четырёхкратное разнесение) [9, 10].

С 2022 года отечественной промышленностью начато производство тропосферной станций «Гроза-1.5» в диапазоне 4,5–5 ГГц, рассчитанной на передачу данных со скоростью до 50 Мбит/с (рис. 10) [11]. Данная ТРСт обеспечивает устойчивую связь между двумя корреспондентами и предоставление высокоскоростного доступа в интернет в районах Крайнего Севера, там, где нет возможности проложить оптоволоконный или телефонный кабель. Тропосферная станция «Гроза-1.5» может функционировать и в режиме радиорелейной связи. Но весьма существенным преимуществом станции являются её массогабаритные показатели: антенна диаметром 1,5 м с усилителем мощности и модемом, что обеспечивает высокую мобильность и малые массогабаритные показатели, что и необходимо при организации связи в современных операциях.



Рис. 10. Тропосферная станция «Гроза-1.5»

Основными направлениями по совершенствованию военных тропосферных станций следует считать:

- создание единого для Вооружённых сил типа тропосферных станций в составе: мобильной возимой (с возможностью развертывания одним-двумя операторами), автомобильной (на базе защищенных машин типа «Буря», «Тигр», «Феникс») и стационарной;
- использование в составе оборудования ТРСт быстроразворачиваемых АМУ, со сменными сегментированными отражателями из легкого металлического сплава или углеродного волокна с диаметром от 1,2 до 2,4 м с системой автоматического наведения;

- увеличение пропускной способности тропосферной связи до 200 Мбит/с и более путем применения новых сигнально-кодовых конструкций модемного устройства с искусственным интеллектом;
- увеличение дальности связи на интервале до 400 км при использовании мобильных ТРСт на автомобильном шасси;
- использование методов помехозащиты, обеспечивающих увеличение значения коэффициента помехозащиты до величины 40–50 дБ;
- использование типового оборудования с интерфейсами Ethernet 10/100/1000 Мбит/с (RJ45);
- размещение оборудования малогабаритных ТРСт в составе линейных комплексных аппаратных связи с реализацией одновременной многонаправленной работы, в том числе с унификацией по механизмам РРВ (режим прямой видимости (до 50 км и более), дифракционный режим (50–100 км), тропосферный режим 100–200 км) с адаптацией пропускной способности;
- создание интеллектуальной системы управления автоматизации процессов развертывания АМУ, юстировки антенн на корреспондента, ведения связи, включения/выключения режима и методов помехозащиты, контроля качества связи и адаптации параметров оборудования;

- простота в развертывании и эксплуатации.

В заключение хотелось бы отметить, что при организации связи на дальность до 500 км мобильные тропосферные линии более эффективны по показателю затрат (количество транспортных единиц, количество обслуживающего персонала, стоимость оборудования) по сравнению с радиорелейными, спутниковыми и волоконно-оптическими линиями.

Создание новых средств тропосферной связи обеспечит развитие научных школ и восстановление утраченных компетенций в области тропосферной связи, даст импульс развития научно-производственных предприятий России занимающихся производством тропосферных станций.

Значительные размеры территории Российской Федерации, сложные климатические и природные условия, сложные географические условия предполагаемых театров военных действий определяют неоспоримые (в отдельных случаях уникальные) преимущества тропосферной связи по сравнению с другими родами связи и показывают ее значимость и востребованность в системах военной связи уже сегодня.

В тропосферных станциях аккумулированы три рода связи: тропосферная, радиорелейная и спутниковая, что подтверждает необходимость дальнейшего развития тропосферной связи как важного рода связи в военной связи.

Литература

1. Базовые средства, комплексы и системы военной связи: энциклопедический справочник. Т. 1 / Под ред. профессора Г. И. Азарова. – Мытищи: 16 ЦНИИ МО РФ, 2005. – 119 с.
2. Антропов Д. А. Радиорелейная связь в системах управления отечественных группировок войск (сил): становление и развитие // Военно-исторический журнал. – 2023. – № 1. – С. 85–98.
3. Гусятинский И. А., Немовский А. С., Соколов А. В., Троицкий В. Н. Дальняя тропосферная радиосвязь – М.: Связь, 1968. – 248 с.
4. Анисимов В. Г., Мырова Л. О. Обоснование оптимальных способов построения перспективных тропосферных станций // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2019. – Т. 13. – № 5. – С. 21–27.
5. Иванов В. Г. Теория и практика построения и обеспечения функционирования системы связи специального назначения с учётом технологического развития и опытов вооруженных конфликтов / Монография В. Г. Иванов. – М.: Красная Звезда, 2025. – 304 с.
6. Луферчик П. В., Луферчик А. В., Галеев Р. Г., Богатырев Е. В., Штро П. В. Повышение энергетических характеристик модема тропосферной связи // Успехи современной радиоэлектроники. – 2022. – № 76 (5). – С. 50–54.
7. Воробьев Н. А., Луферчик П. В., Штро П. В., Богатырев Е. В. Исследование характеристик нестационарности тропосферного канала связи // Журнал Ural Radio Engineering Journal. – 2023. – № 7 (2). – С. 123–136.
8. Мацков А. А., Перспективы использования линий загоризонтной связи // А. А. Мацков, В. В. Серов, Л. И. Чернобельский // Электросвязь. – 2006. – № 8. – С. 33–38.
9. Слюсар В. И., Масесов Н. А. Оценка граничных возможностей пространственного уплотнения каналов тропосферной связи в режиме мульти-ММО / В. И. Слюсар, Н. А. Масесов // XV Международная научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии (ИСТ–2009)» Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, 2009. – С. 90–92.
10. Луферчик П. В., Комаров А. А., Штро П. В., Конев А. Н. Разработка адаптивной системы связи на основе OFDM для тропосферного и радиорелейного канала // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2022. – № 4. – С. 244–250.
11. Михайлина Е. О. Использование новых технологий в тропосферной системе связи // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Издательство ИП Коняхин А. В. (Book Jet). – 2025. – С. 140–141.