

4. Автономные многопараметрические сенсорные модули /Г.И. Леонович, и др. //Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы Всерос. науч.-техн. конф. (г. Самара, 15-17 мая 2018 г.) / Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева. - 2018. - С. 24-26.
5. 3-D-integrated micro/nano modules for easily adapted applications – <https://cordis.europa.eu/project/id/026461/pl>.
6. Napp N., Nagpal R. Robotic construction of arbitrary shapes with amorphous materials. 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Page(s):438 – 444. – <https://ieeexplore.ieee.org/document/6906893/citations?tabFilter=papers>.
7. Kadooka, K., Imamura, H., Taya, M. Experimentally verified model of viscoelastic behavior of multilayer unimorph dielectric elastomer actuators, Smart Material and Structures 25 105028, 2016.
8. Standards for dielectric elastomer transducers. – <https://core.ac.uk/download/pdf/80261549.pdf>.
9. Self-sensing of dielectric elastomer tubular actuator with feedback control validation/ Shengbin Wang // Smart Materials and Structures, 2020, Volume 29, Number 7 – <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-665X/ab914b>.
10. Qiao Z., Parks J. Applications of Highly Stretchable and Tough Hydrogels/Polymers. 2019, 11(11), 1773. – <https://www.mdpi.com/2073-4360/11/11/1773/htm>.

УДК 621.396.43

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СИСТЕМ ТРОПОСФЕРНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Д.В. Лучин

Филиал ФГУП НИИР — СониИР, г. Самара

Ключевые слова: телекоммуникационные системы, тропосферная радиосвязь.

Системы тропосферной радиосвязи получили максимальное развитие в СССР и США во второй половине 20 века. Так в СССР с 1966 года началось возведение сети станций стратегической тропосферной радиорелейной линии связи (ТРРЛ) «Север». Строительство продолжалось до 1970 года, всего было возведено 46 станций. ТРРЛ «Север» исправно служила вплоть до 1990-х. Однако развитие спутниковой связи и развал СССР привели к тому, что станции начали одну за другой консервировать — по сути, закрывать. Последняя из «Горизонт-М» прекратила свою работу в 2003 году. Всего в СССР было создано более 2-х десятков тропосферных станций для различных нужд. Аналогичная участь постигла не только

российский «Север», но и многие американские станции тропосферной радиорелейной связи.

Однако, если в России развитие данного сегмента после развала СССР было практически остановлено, то за рубежом тропосферная связь с внедрением цифровых технологий получила новое качество и развитие. Лидерами данного сегмента в настоящее время являются компании Raytheon и Comtech Systems.

Интенсивное развитие радиолиний тропосферной связи объясняется следующими их преимуществами по сравнению с другими средствами связи:

- возможность обеспечения связи в условиях заполярья при наличии северного сияния и магнитных бурь, существенным образом затрудняющие радиосвязь в декаметровом диапазоне, использующую дальнейе ионосферное распространение;

- возможность обеспечения связи через большие водные преграды, а также в других труднодоступных местах, где невозможно использовать радиорелейную связь из-за трудности сооружения и эксплуатации ретрансляционных станций;

- экономическая выгодность строительства линий тропосферной связи в труднодоступных районах земного шара по сравнению с другими линиями связи (спутниковыми, кабельными и т.д.);

- высокая направленность излучения антенных устройств тропосферных станций, что значительно улучшает электромагнитную совместимость с другими системами;

- высокая пропускная способность среди видов радиосвязи, использующих дальнейе распространение (по сравнению с радиосвязью в декаметровом диапазоне);

- существенно более низкие эксплуатационные издержки по сравнению со спутниковыми системами связи.

Основные сложности и ограничения тропосферной радиосвязи обусловлены спецификой физического механизма дальнего тропосферного распространения, в основе которого лежит не рефракция, как в декаметровой радиосвязи, а рассеяние на неоднородностях тропосферы (близкие к скачкообразным пространственные вариации макроскопических параметров [1, 2]). Данные проблемы обусловлены спецификой дальнего тропосферного распространения. К числу наиболее существенных следует отнести:

- весьма значительное ослабление сигнала на трассе распространения (по сравнению с радиорелейной связью прямой видимости, спутниковой радиосвязью, декаметровой радиосвязью на основе ионосферного распространения);

- многолучевое распространение и, как следствие, наличие замираний сигнала (до 40 дБ);

- ограниченность скорости передачи информации, обусловленной частотным и временным рассеянием в канале связи;
- зависимость уровня сигнала от времени суток и года, от метеорологических и климатических условий.

Однако современный уровень развития техники СВЧ и обработки сигналов позволили с успехом преодолеть указанные проблемы, что существенно улучшило эксплуатационные характеристики систем тропосферной радиосвязи и ее экономическую привлекательность.

Можно выделить следующие общие тенденции развития систем тропосферной связи:

- снижение мощности передатчика до единиц киловатт, а для легких станции и менее;
- уменьшение размеров антенных систем до 0,7м в Ku-диапазоне и до 1,2м в C-диапазоне.
- увеличение скорости передачи данных до 50 Мб/с для систем с одной антенной и до 100 Мб/с для систем сдвоенного приема.

Современные тропосферные станции зарубежных производителей [3, 4] работают в C и Ku диапазонах, и позволяют обеспечить радиорелейно-тропосферное закрытие участков за пределами прямой видимости, при минимальной подготовке станций к работе. Расстояния покрытия такой связью составляет 50-200 км и более, что существенно больше, чем при классической радиорелейной связи (рис.1) и чрезвычайно актуально для оперативного обеспечения связью отраслей экономики.

BLOS Significantly Outperforms LOS In Irregular Terrain

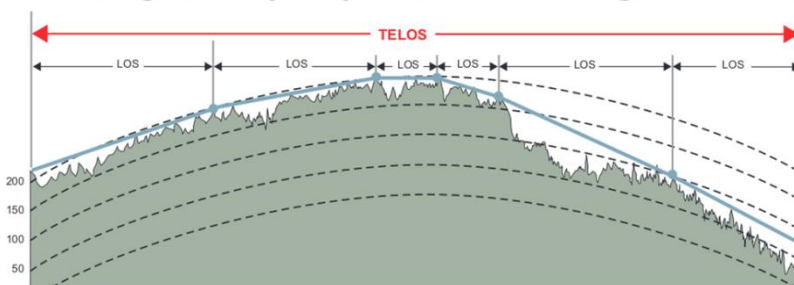


Рисунок 1 – Трассы распространения классической радиорелейной и тропосферной Радиосвязи

Последние несколько лет среди отечественных производителей систем связи также отмечается интерес к созданию систем тропосферной радиосвязи на базе озвученных выше подходов к построению аппаратуры. Тропосферные станции становятся гораздо более легкими, в отдельных

случаях переносными. Характеристики станций «Гроза» и ЦСТР-Л приближаются к лучшим зарубежным аналогам.

Указанные отечественные станции являются фактически гражданскими, что делает тропосферную связь более доступной для широкого спектра отраслей экономики, особенно в районах с неподготовленной инфраструктурой, например, таких как Арктический регион, а также позволяет закрывать потребности в связи на шельфовых территориях, где невозможно размещение ретрансляторов классической радиорелейной связи.

Список использованных источников

1. Основные направления совершенствования тропосферной связи /И.Р. Сиваков, С.В. Ионов //Информационно-телекоммуникационные технологии. Системы, средства связи и управления, 2015. - №4.

2. Тропосферная связь /Л.И. Яковлев, Г.В. Дедюкин, Э.С. Каграманов и др. - М.: Воениздат, 1984. - 256 с.

3. Comtech Systems. (2015, Mar. 27). Technical Information. Introduction to troposcatter communications: A brief synopsis of over-the-horizon troposcatter. [Online]. Available: <http://www.comtechsystems.com/wp-content/uploads/2014/05/Troposcatter-Introduction-Nov-2013.pdf>

4. 50 Mbps Digital Troposcatter Modem | Model CS67500 //Comtech Systems Inc URL: <https://www.comtechsystems.com/wp-content/uploads/2018/06/CS-Datasheet-CS67500.pdf> (дата обращения: 15.12.2019).

Лучин Дмитрий Вячеславович, кандидат технических наук, главный конструктор филиала, ФГУП НИИР – СОНИИР. E-mail: dmyl@soniir.ru.

УДК 535-14

МЕТОДЫ ТЕРАГЕРЦОВОЙ ФОТОНИКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, МОНИТОРИНГА И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.С. Павельев

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара
ИСОИ РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН,
г. Самара

Ключевые слова: терагерцовое излучение, дифракционная оптика, кремниевая фотоника, алмазная фотоника.