

Применение методов и устройств радиофотоники в многочастотных микроволновых радиометрических системах дистанционного зондирования

И.Н. Ростокин¹, Е.В. Федосеева¹, Е.А. Ростокина¹, Г.Г. Щукин^{1,2}

¹ Муромский институт (филиал) ФГБОУ «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, Муром, Владимирская область, ул. Орловская, д.23.

E-mail: rostockin.ilya@yandex.ru

² ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации

197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13.

E-mail: gshchukin@mail.ru

В статье рассматривается возможность использования методов и устройств радиофотоники в составе микроволновых радиометрических систем дистанционного зондирования атмосферы с целью значительного улучшения основных тактико-технических характеристик микроволновой радиоизмерительной аппаратуры. Проведен анализ возможных вариантов использования устройств радиофотоники в составе многочастотных микроволновых радиометрических систем. Представлены результаты структурной проработки перспективной микроволновой радиометрической системы дистанционного зондирования атмосферы.

Ключевые слова: радиофотоника, многочастотные микроволновые радиометрические системы, дистанционное зондирование атмосферы, опасные атмосферные явления.

Application of radiophotonics methods and devices in multifrequency microwave remote sensing radiometric systems

I.N. Rostokin¹, E.V. Fedoseeva¹, E.A. Rostokina¹, G.G. Shchukin^{1,2}

¹ Murom Institute (branch) of the Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov.

² Mozhaisky Military Space Academy.

The article considers the possibility of using methods and devices of radio-photonics in the composition of microwave radiometric systems for remote sensing of the atmosphere in order to significantly improve the basic tactical and technical characteristics of microwave radio-measuring equipment. The analysis of possible options for the use of radio photonics devices as part of multi-frequency microwave radiometric systems is carried out. The results of the structural study of a promising microwave radiometric system for remote sensing of the atmosphere are presented.

Keywords: radiophotonics, multi-frequency microwave radiometric systems, remote sensing of the atmosphere, dangerous atmospheric phenomena.

Введение

Радиофотоника является перспективным направлением науки и техники, которое интенсивно развивается в последние годы. Преимущества данного направления позволяют создавать устройства нового поколения с уникальными функциями. Малые оптические потери, стойкость к электромагнитным помехам и частотная полоса более 100 ГГц способствуют активному применению радиофотонных технологий в различных научно-технических областях, что позволяет использовать новые подходы для создания перспективных радиоизмерительных приборов, в том числе наземных микроволновых радиометрических систем дистанционного зондирования атмосферы.

Радиофотоника (microwave photonics) является новым технологическим направлением на стыке СВЧ-радиоэлектроники и фотоники, в основе которого лежит использование взаимодействия оптического излучения и СВЧ - сигналов при приеме и передаче сигналов и обработке получаемой информации.

Радиофотонные технологии и компонентная база позволяют на новом уровне решать задачи радиоэлектроники в СВЧ - системах дистанционного зондирования, включая как активные метеорадары, так и пассивные микроволновые радиометрические системы дистанционного зондирования атмосферы.

Замена полупроводниковых компонентов на радиофотонные дает возможность существенно упростить схемотехнические решения и функциональное построение аппаратуры, в разы, сократив ее массогабаритные показатели и потребляемую мощность.

Анализ вариантов использования устройств радиофотоники в составе многочастотных микроволновых радиометрических систем

Работы научного коллектива в области радиофотоники направлены на проработку структурного построения перспективных радиофотонных радиометрических систем дистанционного зондирования атмосферы.

В работе [1] представлены результаты структурной проработки перспективной системы дистанционного зондирования атмосферы со следующими ключевыми узлами на элементах радиофотоники: фазированная антенная решетка, оптический приемопередающий модуль, оптический цифровой приемник и волоконные оптические линии связи.

Проведен выбор и обоснование конкретной элементной базы, формирующей систему и доступной в настоящее время на мировом рынке, в результате которого показана техническая возможность реализации системы дистанционного зондирования атмосферы на элементах радиофотоники уже в настоящее время.

В результате проведенного анализа тактико-технических характеристик системы дистанционного зондирования на основе узлов радиофотоники показано резкое повышение чувствительности системы, увеличение дальности обнаружения, снижение массогабаритных характеристик.

В статье членов научного коллектива [2] представлены результаты исследования возможности модернизации современных систем дистанционного зондирования за счет использования методов и элементов радиофотоники в устройствах формирования сигналов гетеродинов. Применение активных фазированных антенных решёток (АФАР) с многоканальной пространственной обработкой принимаемых сигналов, основанной на использовании технологий радиофотоники, позволит значительно улучшить основные тактико-технические характеристики систем дистанционного зондирования: флуктуационная чувствительность; информативность; дальность обнаружения; помехозащищенность и энергопотребление. Реализация перечисленных преимуществ достигается внедрением элементов, функциональных узлов и составных частей подсистем на основе электрооптических модуляторов (ЭОМ) и демодуляторов, источников и приемников оптического излучения, усилителей оптического сигнала, оптических линий задержки (ОЛЗ), ВОЛС и оптических пассивных элементов.

В данный момент научный коллектив работает над исследованием вариантов построения антенных устройств радиофотонных радиоизмерительных систем дистанционного зондирования. В работе [3] представлены результаты исследования вариантов построения излучателей антенных устройств перспективных радиофотонных информационно-измерительных систем.

Приводится краткий обзор и анализ различных типов радиочастотных излучателей нового поколения на основе, электромагнитных кристаллов с запрещенными зонами (EBG - кристаллов). Рассматриваются достоинства и недостатки таких излучателей, применяемых в широком диапазоне длин волн.

Применение EBG-структур приведет к существенному улучшению практически всех характеристик антенн и антенных решеток с различными типами излучателей: увеличение эффективности излучения антенн; увеличение усиления и коэффициента направленности антенн; улучшение параметров ДН антенн, уменьшение боковых и задних лепестков; практически полное устранение паразитной взаимосвязи между излучателями в антенной решетке; значительное улучшение поляризационных характеристик антенн; повышение широкополосности; значительное уменьшение габаритов; возможность построения плоских антенных решеток; снижение радиолокационной заметности за счет уменьшения ЭПР при применении EBG-структурных не отражающих экранов; возможность значительного снижения металлоемкости антенн вплоть до практически полного исключения металла.

Структурная схема радиотепловой многочастотной микроволновой радиометрической системы дистанционного зондирования

Микроволновая радиометрия является средством пассивного дистанционного зондирования атмосферы и оценки ее метеопараметров по результатам измерений собственного радиотеплового излучения атмосферы, являющегося результатом теплового движения заряженных частиц.

Наибольший вклад в формирование радиотеплового излучения облачной атмосферы вносят кислород, водяной пар, жидкокапельные облака и осадки. На основе данных микроволновых радиометрических измерений в результате решения обратных задач оценивают метеопараметры атмосферы, в частности, влагозапас атмосферы и водозапас облаков, а также интенсивность осадков, значительные вариации которых могут являться предикторами возникновения опасных метеорологических явлений.

Информация о радиоярких температурах атмосферы используется для оценки параметров облачности, вариаций полной массы водяного пара в атмосфере, для анализа синоптической обстановки, локализации зон выпадения осадков, а также для решения ряда других научно-прикладных задач.

Вариант структурной схемы многочастотной микроволновой радиометрической системы дистанционного зондирования атмосферы, с использованием элементов радиотехники в тракте передачи промежуточной частоты, представлен на рис. 1.

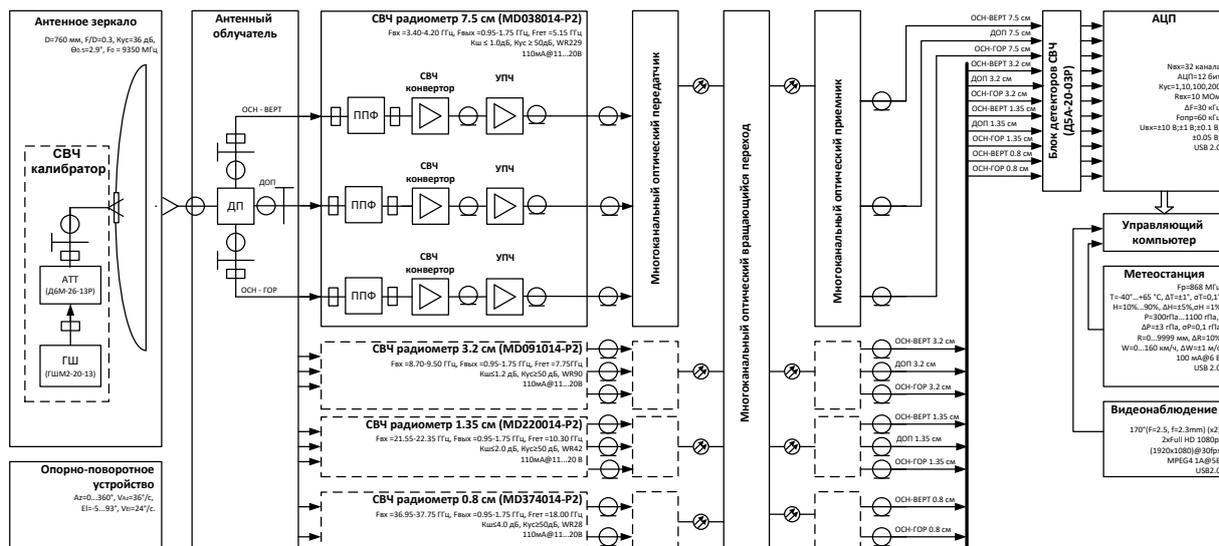


Рис. 1. Структурная схема радиофотонной многочастотной микроволновой радиометрической системы

Реализация в антенне многочастотной микроволновой радиометрической системы трехканального приема по двум основным измерительным (на вертикальной и горизонтальной поляризациях) и дополнительному каналу на общее зеркало антенны определяет условия компенсации влияния фоновых шумов на результаты измерений с возможностью оценки поляризационных контрастов.

Включение в состав микроволновых систем дистанционного зондирования элементов радиофотоники позволит снизить потери сигнала при передаче его к оконечным устройствам обработки, что в целом способствует повышению чувствительности систем.

Таким образом, наземные многочастотные микроволновые радиометрические системы дистанционного зондирования атмосферы и измерительно-прогностические комплексы обнаружения и отслеживания развития опасных атмосферных явлений логически должны развиваться в направлении расширения рабочего диапазона систем в область длинных волн, разработки методик оценки пространственно-структурных характеристик области осадков с переходом к численному моделированию в оперативном режиме оценки интенсивности осадков с применением нейронных сетей и адаптивным регулированием чувствительности при включении в состав систем устройств радиофотоники.

Выводы

Данная работа направлена на развитие и совершенствование наземных систем дистанционного зондирования атмосферы и рассматривается как продолжение и развитие методов микроволновой радиометрии атмосферы, включающий усовершенствование технической части – радиофотонной микроволновой радиометрической аппаратуры, методической части – методики выполнения пространственных измерений и методики оценки многочастотных данных и аналитической части – решения обратных задач оценки параметров атмосферы и формирования прогностических решений на основе использования современного подхода, реализуемого с помощью нейронных сетей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-19-00378, <https://rscf.ru/project/21-19-00378/>.

Литература

1. Ростокин И.Н., Каряев В.В., Ростокина Е.А. Особенности построения радиофотонных радиолокаторов. // Оптические технологии в телекоммуникациях ОТТ-2019: материалы XVII Международной научно-технической конференции. Казань, 18 – 22 ноября 2019 года. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2019. – Т. 2. – 296 с. С. 77 – 79 ISBN 978-5-7579-2419-2 (Т. 2) ISBN 978-5-7579-2416-8.
2. Rostokin I.N., Fedoseeva E.V. Rostokina E.A. Kariaev V.V. Morozov O.G., et al. Design features of microwave photonic radars. // Proc. SPIE 11516, Optical Technologies for Telecommunications 2019, 115160L (22 May 2020); doi: 10.1117/12.2566327 Proc. of SPIE Vol. 11516 115160L-1-6.
3. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Каряев В.В., Ростокина Е.А. Исследование вариантов построения антенных устройств радиофотонных РЛС. // Оптические технологии в телекоммуникациях ОТТ-2020: материалы XVIII Международной научно-технической конференции. Самара, 17 –20 ноября 2020 года. – Самара: ПГУТИ, 2020. – 214 с.