

МОНОСТАТИЧЕСКИЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС Р-ДИАПАЗОНА ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО МАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

© 2016 О. В. Горячкин, Б. Г. Женгуров, И. В. Маслов

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
г. Самара

В настоящее время создание радиолокационных систем космического базирования, работающих в Р-диапазоне частот, является актуальной задачей в развитии систем дистанционного зондирования Земли. Создание таких систем позволяет решать вопросы мониторинга растительного покрова поверхности Земли, проводить анализ почв, обнаруживать объекты, укрытые в листве, но оно затруднено необходимостью использования антенных систем с большой площадью апертуры. Наиболее распространёнными являются раскладывающиеся активные фазированные антенные решётки (АФАР) и гибридно-зеркальные антенны. Такие конструкции обладают значительной массой и габаритами, что не позволяет рассматривать для них в качестве носителя малые космические аппараты. В статье предлагается вариант использования антенной системы на основе решётки из четырёх приёмо-передающих антенн с излучателями типа Уда-Яги. Показано, что данные системы обладают достаточными характеристиками для решения целевых задач. Простота конструкции позволяет устанавливать их на малые космические аппараты, что резко снижает стоимость и сроки изготовления.

Радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА), Р-диапазон, малые космические аппараты.

В последние годы обсуждаются проблемы реализации космических РСА дистанционного зондирования Земли, работающих в диапазонах частот, на данный момент не используемых в космической радиолокации.

Особенно интересно использование диапазонов Р и VHF, поскольку радиолокационное изображение (РЛИ) в этих диапазонах несёт в себе информацию о распределении коэффициента отражения в толще растительности и почвы. При этом глубина проникновения под поверхность земли в VHF-диапазоне может достигать нескольких сотен метров, а в Р-диапазоне растительность уже не оказывает маскирующего действия. Кроме того, использование низкочастотных диапазонов связано с высокой эффективностью применения поляриметрических РСА для картографирования растительных покровов.

К сожалению, размещение этих систем в космосе сопровождается рядом

сложных технических проблем. Одной из основных проблем является потеря когерентности РСА вследствие эффектов распространения радиоволн рассматриваемых диапазонов через атмосферу Земли. Эти эффекты приводят к снижению потенциального пространственного разрешения этих систем, геометрическим и поляризационным искажениям. Кроме этого, с увеличением длины волны растёт необходимая площадь апертуры антенны (более 110 м^2) при значительной излучаемой мощности (более 1000 Вт). Осложняет задачу требование наличия полного поляриметрического базиса.

Данная проблематика обусловила интерес к изучению влияния атмосферных эффектов на характеристики космических (трансионосферных) РСА. На сегодняшний день опубликовано достаточно большое количество работ по данной проблематике (например, [1; 2]), в которых показана существенная деградация разрешающей способности РСА (до десятков

Цитирование: Горячкин О.В., Женгуров Б.Г., Маслов И.В. Моностатический радиолокационный комплекс р-диапазона для перспективного малого космического аппарата // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2016. Т. 15, № 1. С. 38-45. DOI: 10.18287/2412-7329-2016-15-1-38-45

метров в Р-диапазоне и до сотен метров в VHF-диапазоне).

Одним из возможных путей преодоления данных трудностей является использование бистатической схемы съёмки, при которой приёмная позиция размещается под ионосферой на относительно небольшом расстоянии от области интереса (10-20 км). Эта идея использована при разработке бистатического радиолокационного комплекса (БиРЛК) на малом космическом аппарате (МКА) «АИСТ-2Д» [3; 5].

Успешная реализация БиРЛК на МКА «АИСТ-2Д» открывает возможности для создания полноценного космического РСА Р-диапазона в сроки, сопоставимые с планами других стран [4].

Это объясняется следующими обстоятельствами:

1. Экспериментальная отработка радиопередающего устройства (РПУ), разработанного Самарским отделением научно-исследовательского института радио и обеспечивающего широкий ансамбль когерентных сигналов высокой мощности от 130 до 180 Вт в импульсе.

2. Экспериментальная отработка наземной антенной решётки из кросс-поляризованных элементов типа Уда-Яги, разработанной в Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ), с коэффициентом усиления до 20 дБ, в полосе до 30 МГц, на несущей частоте 435 МГц.

3. Регистрация сигналов в прямом канале БиРЛК позволит получить реализации случайных амплитудных и фазовых флуктуаций сигнала на трассе спутник – земля и провести статистическую идентификацию искажений сигнала, что необходимо для построения эффективных алгоритмов синтеза апертуры в Р-диапазоне.

В зарубежных космических программах основой для создания низкочастотных космических РСА стало использование больших раскладывающихся зеркальных антенн (диаметр не менее 10-12 м) типа Astromesh (рис. 1) с облучателем в виде антенной решётки (4 или 6 элементов). Особенностью такой антенны является сложная схема разложения зеркала, что приводит к высокой стоимости КА.

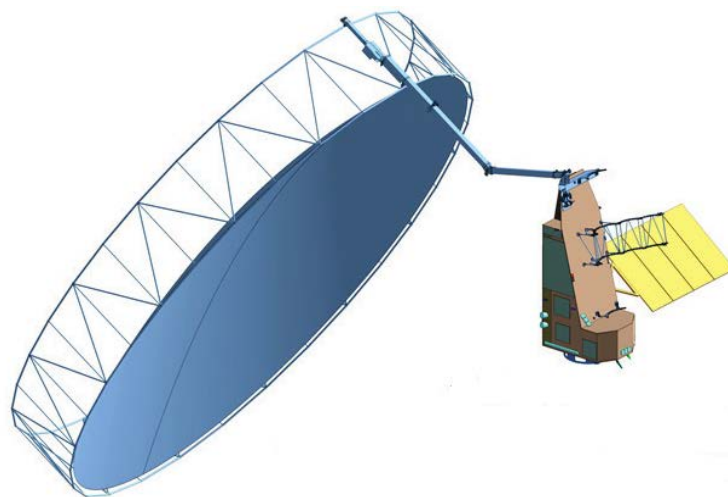


Рис. 1. BIOMASS P-band SAR (ESA)

В статье рассматривается вариант использования антенной решётки, состоящей из четырёх приёмо-передающих антенн с излучателями типа Уда-Яги и с переключателями поляризации (аналог наземных антенн БиРЛК МКА «АИСТ-2Д»), и четырёх радиопередающих

устройств (РПУ) РЛК изделия «АИСТ-2Д» для создания моностатического полнополяриметрического РСА Р-диапазона космического базирования (рис. 2) с возможным размещением на МКА массой до 250 кг.

На рис. 3 показана антенная система, состоящая из четырёх антенн типа Уда-Яги, длина каждой антенны составляет 4,4 м (21 элемент), коэффициент усиления равен 18 дБ. При расстоянии в стеке между антеннами 1,73 м суммарный коэффициент усиления достигает 24 дБ, ширина основного луча диаграммы направленно-

сти не более 11° , уровень боковых лепестков минус 11 дБ. Предварительная оценка показала, что масса антенной системы при её изготовлении из сплава АМг6 не превысит 25 кг. Такая конструкция антенной системы позволяет использовать её практически на любом МКА при минимальных доработках.

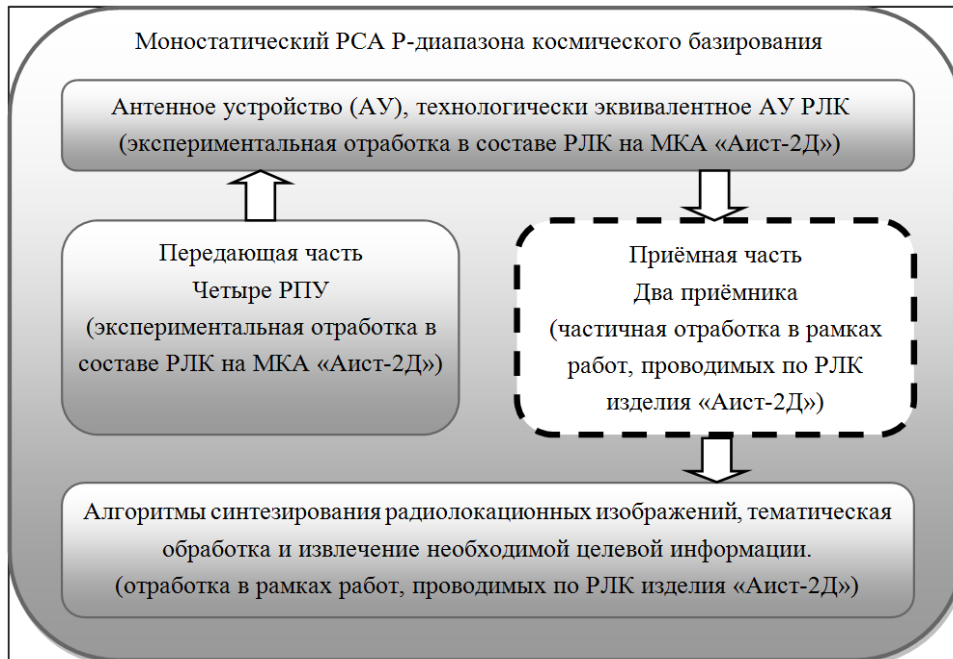


Рис. 2. Структурная схема моностатического РСА Р-диапазона на основе передающего модуля РЛК «АИСТ-2Д»

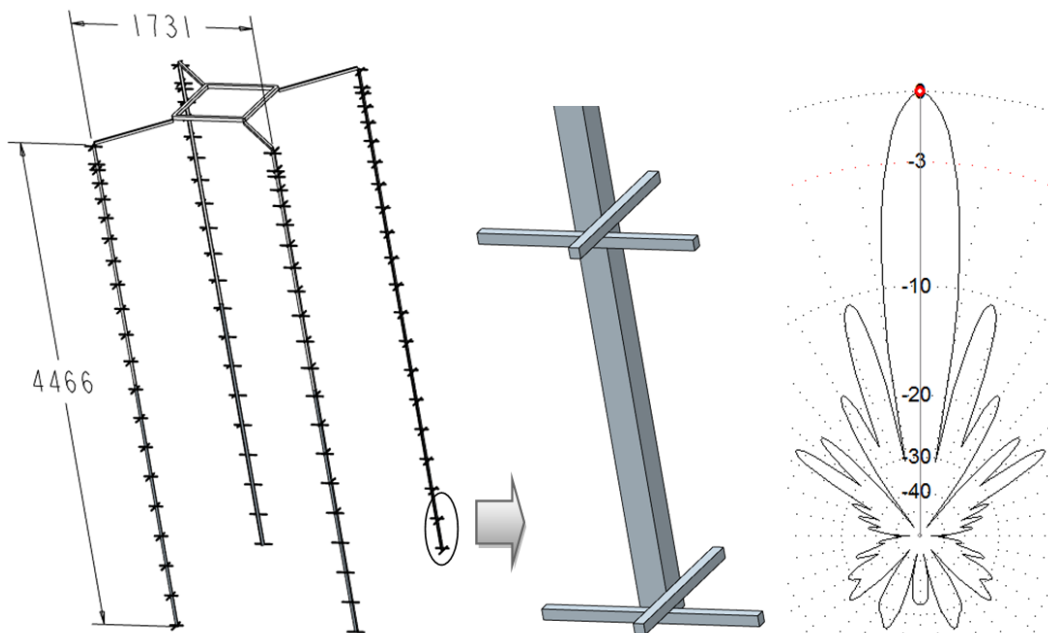


Рис. 3. Антенная система для моностатического РСА Р-диапазона: размеры указаны в мм

Для расчёта основных тактико-технических характеристик МКА с РСА Р-диапазона были приняты следующие исходные данные:

1. Масса МКА не более 250 кг.
2. Срок активного существования не менее года.
3. Использование четырёх РПУ (импульсная мощность каждого не более

180 Вт) из состава БиРЛК для создания передающей части.

4. Основной режим работы – маршрутная съёмка с полной поляризационной матрицей в полосе захвата не менее 100 км.

В табл. 1 представлены основные результаты расчёта.

Таблица 1. Результаты расчёта

Параметр	Полоса частот зондирующего сигнала	
	6 МГц	30 МГц
Высота орбиты (наклонение $i=97^\circ$)	420 км	
Центральная частота	435 МГц	
Вид излучаемого сигнала	ЛЧМ-импульс, М-последовательность	
Разрешение по азимуту	35 м	5-8 м
Разрешение по наклонной дальности	25 м	5 м
Разрешение по горизонтальной дальности	40,5-53,6 м	7,9-10,6 м
Минимальный угол падения	28°	
Максимальный угол падения	39°	
Полоса захвата	не более 130 км	
Чувствительность РСА	минус 27 дБ	минус 20 дБ
Скважность	19	19

Основными задачами, решаемыми данным комплексом, будут следующие:

1. Круглосуточный всепогодный мониторинг земной поверхности (суши и моря).
2. Видовая разведка (возможность обнаружения замаскированной военной техники).
3. Обнаружение изменений в окружающей обстановке.
4. Подповерхностное (проникающее под листву) зондирование.
5. Создание цифровых моделей рельефа при интерферометрической съёмке.
6. Обновление топографических карт.
7. Оценка распределения биомассы лесов и изменения их годовых запасов.

8. Совместный эксперимент с приёмным пунктом БиРЛК «АИСТ-2Д» (рис. 4).

На рис. 5, 6 представлен возможный проектный облик и возможная схема размещения антенной системы на орбите.

Таким образом, показано, что создание полноценного радиолокационного комплекса Р-диапазона возможно на базе антенн Уда-Яги. При этом тактико-технические характеристики предлагаемой системы не уступают зарубежным аналогам и достаточны для решения целевых задач. Низкая масса и технологическая простота антенной системы позволяет использовать в качестве носителя малые космические аппараты, что позволяет сократить стоимость и сроки изготовления.

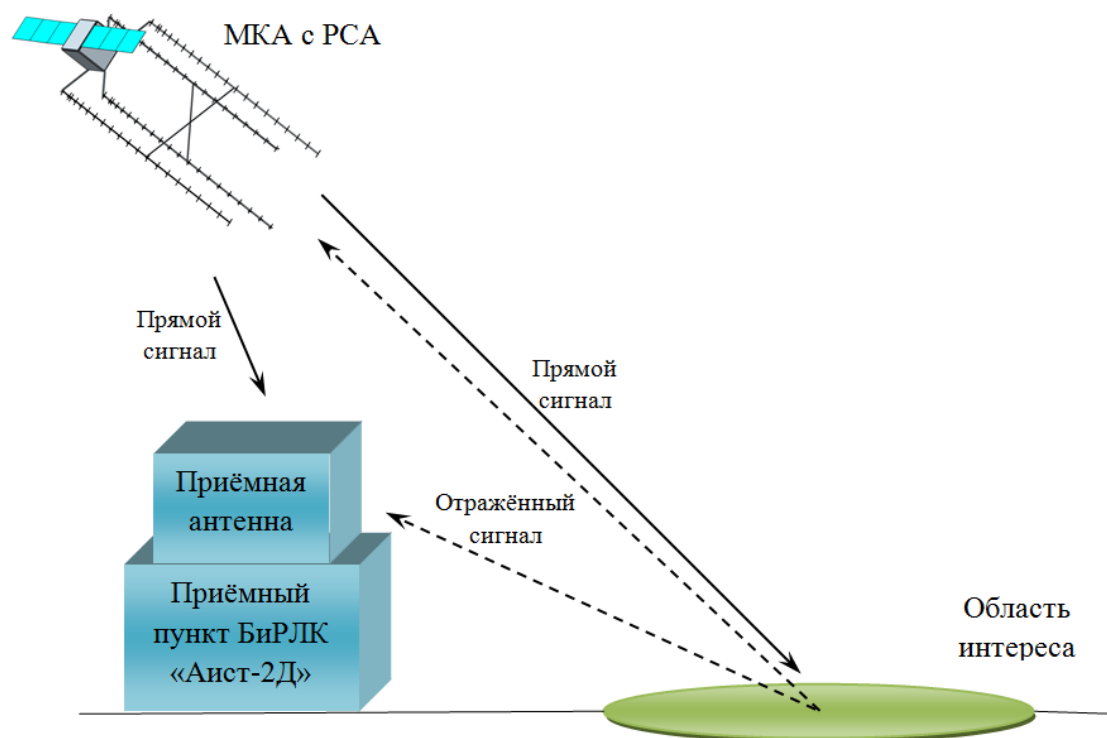


Рис. 4. Совместный эксперимент с БиРЛК «АИСТ-2»

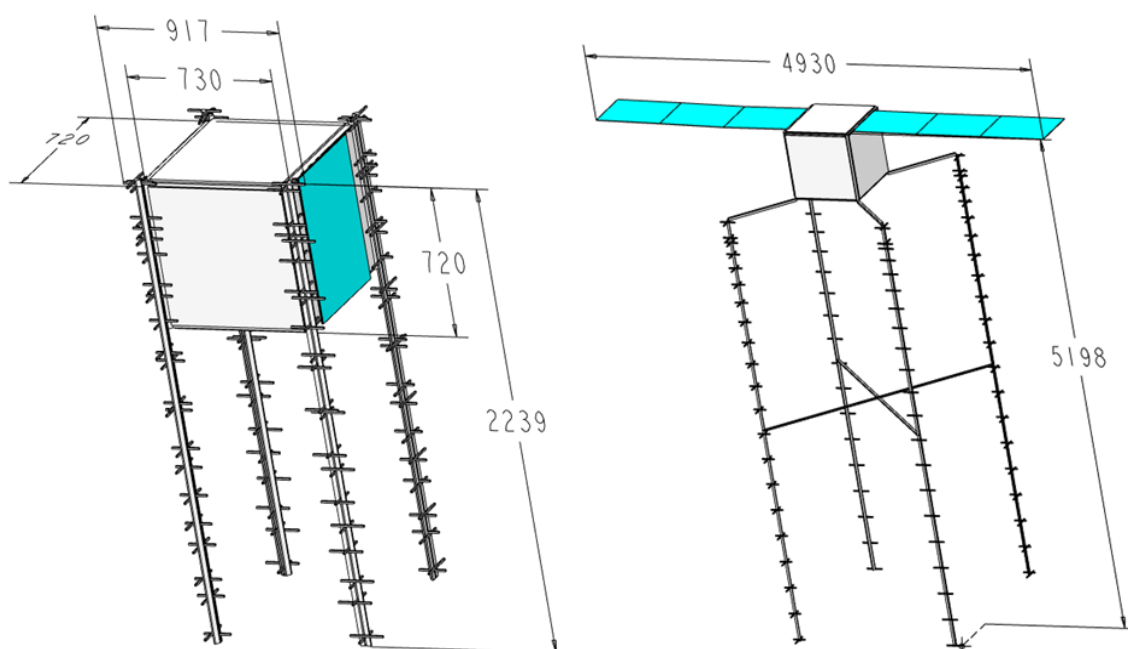


Рис. 5. Проектный облик МКА с РСА Р-диапазона:
размеры указаны в мм

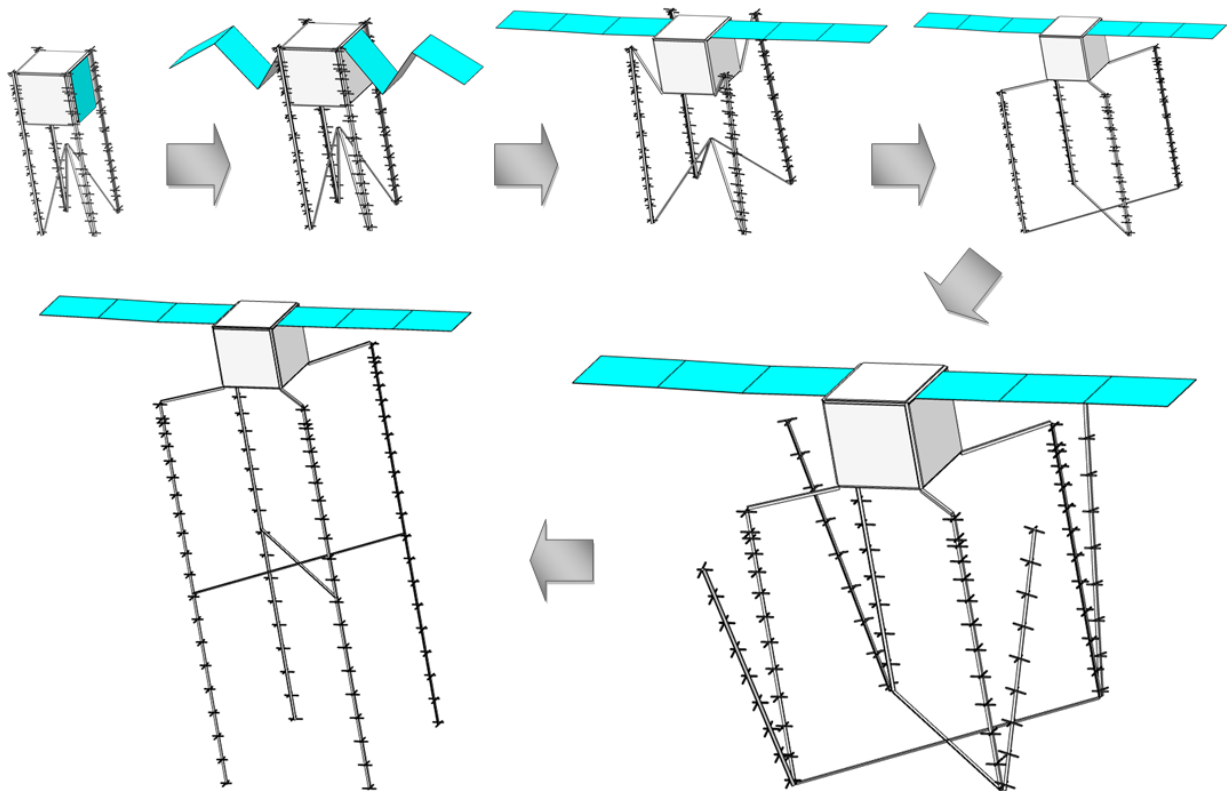


Рис. 6. Вариант раскрытия антенной системы

Библиографический список

1. Горячкин О.В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи. М.: Радио и связь, 2003. 230 с.
2. Goriachkin O.V. Azimuth Resolution of Spaceborne P, VHF-Band SAR // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2004. V. 1, Iss. 4. P. 251-254. doi: 10.1109/lgrs.2004.833777
3. Akhmetov R.N., Belokonov I.V., Goriachkin O.V., Kovalenko A.I., Riemann V.V., Stratilatov N.R., Tkachenko S.I., Maximov A.A. Space-based juxtaposition Earth and Circumterrestrial radar monitoring system based on micro-satellites technologies // Book of abstracts of the First Specialized International Symposium. Limassol, 2009. P. 62.
4. Ramongassie S., Valle P., Orlando G., Arpesi P.G., Hélière F., Arcioni M. P-band SAR instrument for BIOMASS // 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar. 2014 P. 1156-1159.
5. Борисенков А.В., Горячкин О.В., Дмитренко В.И., Долгополов В.Н., Женгуров Б.Г., Журавлев А.А., Курков И.Г., Хохлов С.М. Бистатический радиолокатор Р диапазона для МКА «АИСТ-2» // Тезисы докладов третьей международной конференции «Научные и технологические эксперименты на автоматических космических аппаратах и малых спутниках». Самара: Самарский научный центр РАН, 2014. С. 167-170.

Информация об авторах

Горячкин Олег Валериевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники и связи, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара. E-mail: gor@psati.ru. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов в системах радиотехники и

связи, радиофизические методы дистанционного зондирования Земли, радиолокация с синтезированием апертуры антенны, слепая идентификация систем, прикладная статистика.

Женгуров Борис Глебович, аспирант кафедры теоретических основ радиотехники и связи, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара. E-mail: loir47@rambler.ru. Область научных интересов: цифровая обработка сигналов, алгоритмы формирования изображений в многопозиционных РСА.

Маслов Иван Владимирович, аспирант кафедры теоретических основ радиотехники и связи, Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара. E-mail: macloff@mail.ru. Область научных интересов: проектирование малых космических аппаратов, цифровая обработка сигналов.

MONOSTATIC P-BAND RADAR SYSTEM FOR ADVANCED SMALL SATELLITES

© 2016 O. V. Goryachkin, B. G. Zhengurov, I. V. Maslov

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,
Samara, Russian Federation

Currently, creation of space -based P-band radar systems is a vital problem in the development of Earth remote sensing systems. These systems make it possible to solve the problem of monitoring vegetation on the Earth's surface, to carry out soil analysis and detect objects hidden in foliage. Such systems are, however, difficult to produce due to the necessity of using large- aperture antenna systems. Expanding active phased arrays and reflector antennas are most common for the task. Structures of this kind are characterized by considerable mass and dimensions, which does not make it possible to regard small satellites as their carriers. A system with an array of four transceiving Yagis is proposed. The systems are shown to possess sufficient characteristics to solve the target tasks. The structure's simplicity makes it possible to install the systems on small satellites, which drastically reduces the cost and time of production.

Synthetic aperture radar, P-band, small satellite.

References

1. Goriachkin O.V. *Metody slepoy obrabotki signalov i ikh prilozheniya v sistemakh radiotekhniki i svyazi* [Methods of blind processing of signals and their applications in systems of radio engineering and communication]. Moscow: Radio i Svyaz' Publ., 2003. 230 p.
2. Goriachkin O.V. Azimuth Resolution of Spaceborne P, VHF-Band SAR. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 2004. V. 1, Iss. 4. P. 251-254. DOI: 10.1109/lgrs.2004.833777
3. Akhmetov R.N., Belokonov I.V., Goriachkin O.V., Kovalenko A.I., Riemann V.V., Stratilatov N.R., Tkachenko S.I., Maximov A.A. Space-based juxtaposition Earth and Circumterrestrial radar monitoring system based on micro-satellites technologies. *Book of abstracts of the First Specialized International Symposium*. Limassol. 2009. P. 62.
4. Ramongassie S., Valle P., Orlando G., Arpesi P.G., Hélière F., Arcioni M. P-band SAR instrument for BIOMASS. *10th European Conference on Synthetic Aperture Radar*. 2014. P. 1156-1159.

Citation: Goryachkin O.V., Zhengurov B.G., Maslov I.V. Monostatic p-band radar system for advanced small satellites. *Vestnik of the Samara State Aerospace University*. 2016. V. 15, no.1. P.38-45. DOI:10.18287/2412-7329-2016-15-1-38-45

5. Borisenkov A.V., Goriachkin O.V., Dmitrenok V.I., Dolgoplov V.N., Zhengurov B.G., Zhuravlev A.A., Kurkov I.G., Hohlov S.M. Bistaticheskiy radiolokator P-diapazona dlya MKA «AIST-2». *Abstracts of Third International Conference «Scientific and Technological Experiments on Automatic Space Vehicles and Small Satellites»*. Samara: Samarskiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2014. P. 167-170. (In Russ.)

About the authors

Goryachkin Oleg Valerievich, Doctor of Science (Engineering), Professor, Head of the Department of Theoretical Foundations of Radio Engineering and Communication, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. E-mail: gor@psati.ru. Area of Research: digital signal processing in systems of radio engineering and communication, radiophysical methods of Earth remote sensing, synthetic aperture radar, blind identification of systems, applied statistics.

Zhengurov Boris Glebovich, post-graduate student, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. E-mail: loir47@rambler.ru. Area of Research: digital signal processing, algorithms of formation of images in multistatic synthetic aperture radar system.

Maslov Ivan Vladimirovich, post-graduate student, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. E-mail: macloff@mail.ru. Area of Research: design of small spacecraft, digital signal processing.