

## **Принципы реализации космических скаттерометров на основе активных фазированных антенных решёток**

С.Л. Внотченко, А.И. Коваленко, В. В. Риман, С.Н. Смирнов, И.Н. Чечина

*ОАО «Научно-исследовательский институт точных приборов»,  
ул. Декабристов 51, 127490 Москва, Россия,  
Тел: (495)402-92-77, Факс(495)404-91-91, E-mail:Alexander.Kovalenko@niitp.ru*

*В докладе описан технический облик и основные характеристики многофункциональных космических скаттерометров  $K_u$ -диапазона, реализуемых в виде радиолокаторов с активными фазированными антенными решётками (АФАР). Рассмотрены различные варианты построения бортовой радиолокационной аппаратуры: с призматической АФАР, обеспечивающей круговой обзор земной (водной) поверхности и с парой АФАР (переднего и заднего обзора). Приведены сравнительные характеристики скаттерометров.*

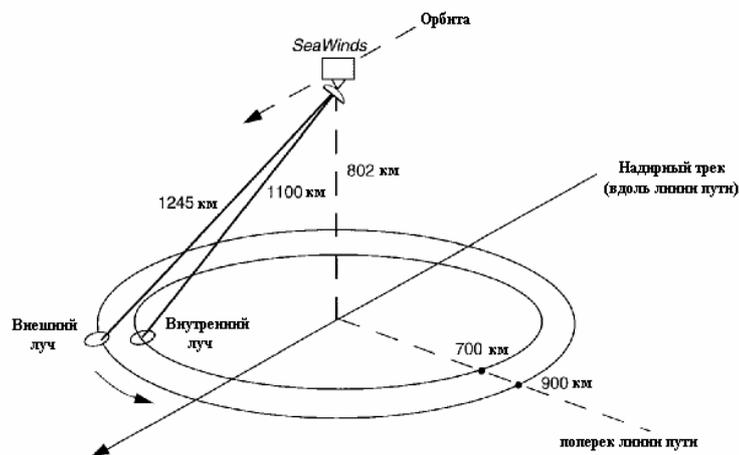
*This report presents technical pattern and main characteristics of the multifunctional spaceborne  $K_u$ -band scatterometers, which realized as radar with active phase array. Various design versions on-board radar hardware are consideration: radar with prismatic active phased array and radar with pair active phased array (forward looking and back looking). Comparison characteristics of scatterometers are presented.*

### **Введение**

Современные скаттерометрические радиолокационные системы, размещённые на космических аппаратах, предназначены для осуществления оперативного глобального мониторинга состояния поверхности океанов. Обработка полученных измерительных данных о распределении величины удельной эффективной поверхности рассеяния (УЭПР) позволяет, в рамках определённых модельных предположений, определять параметры приводного ветра и морского волнения в широкой полосе обзора. Типичным представителем такого класса аппаратуры является СВЧ-скаттерометр SeaWind – панорамный измеритель вектора скорости ветра в открытом океане, размещённый на КА QUIKSKAT [1, 2]. Бортовая радиолокационная аппаратура данного скаттерометра построена на основе параболической вращающейся антенны, осуществляющей обзор земной поверхности остронаправленным лучом, что налагает известные ограничения на функциональные свойства скаттерометра (реализуется единственный режим с постоянными параметрами съёмки). Одной из возможных альтернатив такому техническому облику скаттерометра представляется применение технологии активных фазированных антенных решёток (АФАР) в сочетании с современными цифровыми методами формирования и обработки зондирующего сигнала.

### **Геометрия радиолокационного наблюдения**

Принцип действия скаттерометров со сканированием луча основан на использовании зависимости УЭПР морской поверхности от геометрических параметров радиолокационного наблюдения (угол падения луча, азимутальный угол по отношению к направлению ветра) и характеристик зондирующего сигнала (длина волны, поляризация сигнала). По результатам сканирования поверхности, проведённом с определённым углом падения и с известной поляризацией, с помощью соответствующего алгоритма обработки данных (см. [2]) можно восстановить панораму скорости и направления приводного ветра; при этом обработка проводится на борту с непосредственной передачей на Землю сформированных измерительных данных. Геометрия обзора морской поверхности для скаттерометра типа SeaWind приведена на рис. 1.



**Рис. 1. Геометрия обзора морской поверхности системы SeaWind на КА QUIKSCAT**

*Пространственная разрешающая способность* полученного поля скоростей приводного ветра определяется поперечным размером следа диаграммы направленности антенны на поверхности, шириной спектра зондирующего сигнала и необходимой кратностью усреднения результатов оценки УЭПР. Характерная величина размера элемента разрешения в скаттерометре SeaWind варьируется в интервале 15 – 22 км.

При конкретизации технического облика бортовой радиолокационной аппаратуры целесообразно рассматривать *базовый режим* функционирования системы, эквивалентный режиму радиолокационной съёмки SeaWind с *одним* сканирующим лучом антенны *одной* поляризации. Это позволяет корректно провести сравнение параметров систем разных типов; в случае практической же реализации проектов этот подход даёт возможность использования ранее разработанных методик и алгоритмов обработки результатов радиолокационных измерений, а также существующих технических средств калибровки радиолокационных измерений параметров поверхности океана.

В настоящей работе рассмотрим два типа скаттерометров:

- скаттерометр с призматической АФАР;
- скаттерометр с антенной системой в виде пары плоских АФАР (переднего и заднего обзора).

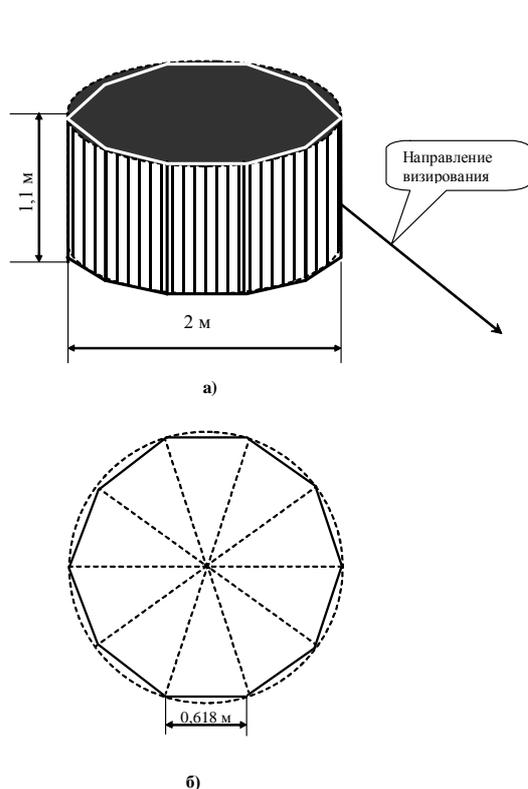
### **Скаттерометр с призматической АФАР**

Апертура антенны представляет собой боковую поверхность правильной многоугольной прямой призмы с максимальным размером основания 2 м и длиной бокового ребра 1,1 м (рис. 2). Антенное полотно реализуется в виде волноводно-щелевой решётки, в которой элементарным излучателем является волноводно-щелевая антенна бегущей волны.

Основные функциональные отличия от скаттерометра SeaWind состоят в следующем:

- сканирование луча осуществляется электронным способом;
- угол падения электромагнитной волны может регулироваться (за счёт изменения несущей частоты);
- возможна реализация двух лучей ортогональных поляризаций с одинаковыми углами падения электромагнитной волны;
- реализуется программное управление параметрами режима радиолокационной съёмки.

Структурная схема аппаратно-программных средств бортовой аппаратуры скаттерметра показана на рис. 3.

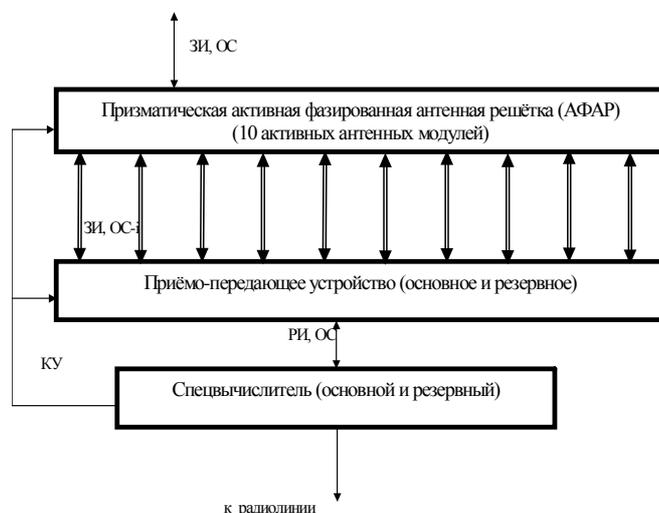


**Рис. 2. Конфигурация призматической антенной системы:**  
**а) аксонометрический вид;**  
**б) вид сверху**

Базовым конструктивным элементом призматической АФАР является активный антенный модуль (ААМ), излучающая поверхность которого представляет собой грань призмы размером  $618 \times 1100 \text{ мм}^2$ . При шаге расположения элементарных излучателей по азимуту (вдоль малого размера ААМ), равному 19,3 мм, обеспечивается сектор углов электронного сканирования  $\pm 18^\circ$  при уровне дифракционного максимума ДНА минус 8,16 дБ. Таким образом, в состав ААМ входит 32 элементарных приёмо-передающих канала, конструктивно объединенных в 4-канальные групповые приёмо-передающие модули (ГППМ).

### Скаттерметр с антенной системой в виде пары плоских АФАР

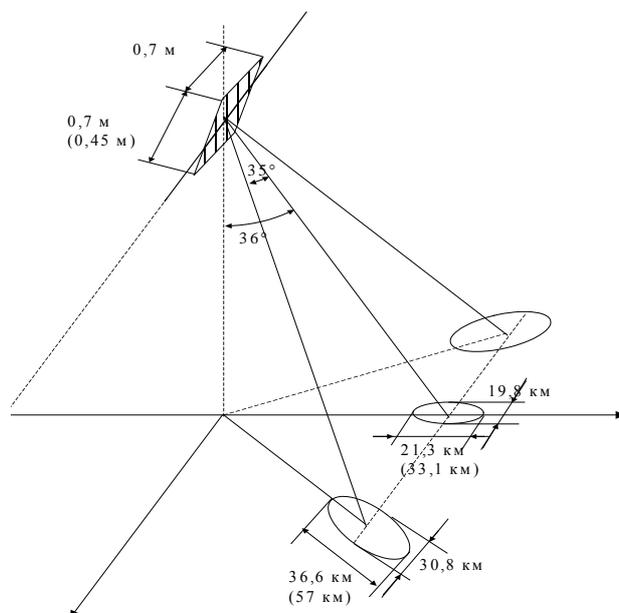
Антенная система представляет собой пару плоских АФАР, осуществляющих обзор передней и задней полусферы. Обзор в пределах каждой полусферы осуществляется путём электронного сканирования луча антенны в плоскости, поперечной траектории движения КА. Геометрические размеры каждой из антенн составляют  $0,7 \times 0,7 \text{ м}^2$  (вариант 1) или  $0,7 \times 0,45 \text{ м}^2$  (вариант 2). Структура бортовой аппаратуры аналогична показанной на рис. 3, но с другим количеством активных антенных модулей. Геометрия визирования (для передней полусферы) иллюстрируется рис. 4.



**Рис. 3. Структура аппаратно-программных средств скаттерметра с призматической АФАР**

На рис. 3 приняты следующие сокращения:

- ЗИ – зондирующий импульс;
- КУ – команды управления;
- ОС-*i* – отражённый сигнал, принимаемый *i*-м активным антенным модулем;
- РИ – радиоимпульс.



**Рис. 4. Геометрия визирования в передней полусфере**

Данный вариант скаттерометра имеет следующие особенности:

1. Для обеспечения приемлемой полосы обзора сканирование лучом осуществляется в передней (задней) полусфере в достаточно широком угловом секторе  $\pm 36$  град. Это приводит к существенным ограничениям на величину шага элементарных излучателей антенной решётки в поперечном направлении, что делает невозможным реализацию двухполяризационной решётки в рамках одной антенной апертуры.

2. При строго секторном сканировании происходит заметное изменение угла падения электромагнитной волны по полосе обзора. Этот эффект может быть парирован перестройкой несущей частоты зондирующего импульса в зависимости от текущего азимутального положения луча.

**Основные параметры скаттерометров** приведены в таблице.

Анализ данных показывает, что отечественные космические скаттерометры нового поколения могут быть реализованы на основе АФАР  $K_u$ -диапазона. При этом рассмотренные варианты исполнения бортовой аппаратуры характеризуются приемлемыми массо-энергетическими показателями, и, в то же время, обладают большими возможностями по адаптации параметров радиолокационной съёмки к решаемым научно-прикладным задачам.

Для повышения информативности системы радиолокационного наблюдения океана аппаратура скаттерометров может быть дополнена каналом *вертикального зондирования*, функционально представляющим собой радиолокатор со сканирующей антенной, имеющей диаграмму направленности "ножевой" формы (см., например,[3]).

Таблица. Параметры скаттерометров

№ п/п	Параметр	SeaWinds	Система с призм. АФАР	Система с двумя плоскими АФАР (Вариант 1)	Система с двумя плоскими АФАР (Вариант 2)
1.	Высота орбиты	800 км	650 км	650	650
2.	Полоса обзора	1800 км	1460 км	1212 км	1212 км
3.	Угол падения	47°; 55°	52.4°-56°	40.4°-56°	40.4°-56°
4.	Размер первичного элемента разрешения по гориз. дальности	700 м	818 м	916 м	713 м
5.	Размер результир. элемента разрешения по горизонт. дальности	15 км; 19 км	32.7 км	36.6 км	28.5 км
6.	Импульсная мощность	110 Вт	25 Вт (1 луч)	10/20 Вт□2 – 2 решетки	10/20 Вт□2 – 2 решетки
7.	Средняя мощность		6.16 Вт	3.6 Вт□2	3.6 Вт□2
8.	Размер апертуры антенны	Диаметр зеркала 1 м	1.1□0.618 м <sup>2</sup>	0.7□0,7 м <sup>2</sup>	0.45□0,7 м <sup>2</sup>
2	Отношение сигнал/шум	8 дБ	8.3 дБ	10.5 дБ	8.6 дБ
9.	Масса БА	120 кг	130 кг	50 кг	44 кг
10.	Потребление БА	-	230 Вт	350 Вт	590 Вт

### Заключение

Космические скаттерометры, построенные на основе АФАР и осуществляющие *адаптивное* радиолокационное наблюдение поверхности океана, могут быть реализованы в рамках создания космических комплексов океанографического и гидрологического назначения.

На наш взгляд, при дальнейшей практической реализации рассмотренных проектов, необходимо подробно рассмотреть следующие **системно-теоретические вопросы**:

- обоснование требований, предъявляемых к информации, формируемой космической системой наблюдения океана;
- формирование принципов применения адаптивных многофункциональных скаттерометров в космических системах дистанционного зондирования океана;
- разработка и обоснование процедур калибровки радиолокационных измерений (в том числе, с использованием наземных и подспутниковых средств).

### Литература

1. M. W. Spencer, Chialin Wu, D. G. Long. Tradeoffs in the Design of a Spaceborne Scanning Pencil Beam Scatterometer: Application to SeaWinds. IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, Vol. 35, No. 1, January 1997, 115-126
2. M. W. Spencer, Chialin Wu, D. G. Long. Improved Resolution Backscatter Measurements with the SeaWinds Pencil-Beam Scatterometer. IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, Vol. 38, No. 1, January 2000, 89-104
3. В. Караев, М.Каневский, Г.Баландина, Е.Мешков, П.Челленор, М.Срокосз, К.Гомменджинджер, Новые средства дистанционной диагностики океана: радиолокатор СВЧ-диапазона с ножевой диаграммой направленности антенны, Исследование Земли и Космоса, 2004, N 2, 41-52