

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЁМНО-ПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ЗОНДИРОВАНИЯ ЛУННОГО ГРУНТА

Семёнов Дмитрий Александрович

Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, г. Фрязино, Акционерное общество «ЭМИКОН» РФ, г. Королев

Дубовой Александр Николаевич

научный руководитель, Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, РФ, г. Фрязино

Аннотация. В статье приводятся программа и результаты испытаний разработанного приёмно-передающего модуля для радиолокационного зондирования лунного грунта.

В результате выполнения этапа экспериментальных исследований получены следующие основные результаты.

Макет приёмно-передающего модуля соответствует техническим требованиям и обеспечивает:

- прием радиосигналов в диапазоне частот 1200-1400 МГц по восьми каналам с независимой регулировкой их фазы в диапазоне не менее 355° с шагом не более $5,625^\circ$ и амплитуды в диапазоне не менее 28 дБ с шагом не более 1 дБ;
- излучение радиосигналов по восьми каналам с импульсной мощностью не менее 1,5 Вт с независимой регулировкой их фазы в диапазоне не менее 355° с шагом не более $5,625^\circ$ и амплитуды в диапазоне не менее 28 дБ с шагом не более 1 дБ.

Экспериментальные данные показывают, что коэффициент стоячей волны по напряжению в пределах рабочего диапазона частот не превышает 1,5. Ширина диаграммы направленности по уровню половинной мощности равна 23° . КПД приемно-передающего модуля в режиме передачи составляет 22,8%.

Ключевые слова: Диапазон частот, излучатель, импульсная мощность, коэффициент передачи, коэффициент стоячей волны, масса, диапазон регулировки фазы, фаза, шаг регулировки.

Введение. Метод радиолокации позволяет проводить исследование грунта, различных сред. Радиолокационный метод исследования грунта достаточно апробирован в условиях Земли, что позволяет применять его и при исследовании лунного грунта. В условиях Луны в связи с отсутствием атмосферы возможно использование коротковолнового диапазона с меньшим ослаблением радиолокационного сигнала.

Важными характеристиками радиолокационного комплекса для сканирования лунного грунта

являются повышенная скорость сканирования и высокий уровень разрешения. Активная фазированная антенная решётка характеризуется узким лучом диаграммы направленности, возможностью оперативного изменения алгоритма сканирования. Эти характеристики обеспечивают её преимущество перед другими антенными системами в целях зондирования лунного грунта с радиолокационного комплекса в активном режиме. Активная фазированная антенная решётка позволяет быстро «качать» сканирующий луч, что повышает точность результатов сканирования. Активную фазированную антенную решётку, излучающую на частоте приблизительно 20 МГц можно использовать для зондирования лунного грунта на глубину до 100 км, а активную фазированную антенную решётку, излучающую на частоте более 1000 МГц можно использовать для зондирования лунного грунта на глубину до 10 метров, но с высоким разрешением, что позволяет использовать 3D-георадар для получения наглядных визуальных результатов неглубоких подповерхностных слоёв лунного грунта.

1. Общие характеристики приёмно-передающего модуля на основе активной фазированной антенной решётки. В радиолокационном комплексе для зондирования лунного грунта в активном режиме используется активная фазированная антенная решётка. [1] Это позволяет снизить массогабаритные характеристики радиолокационного комплекса, что важно при установке оборудования на перелётном космическом модуле.

Макет приёмно-передающего модуля (далее ППМ) представляет 8-элементную подрешетку активной фазированной антенной решётки. Он обеспечивает передачу и приём сигналов с независимым усилением, управлением амплитудой и фазой СВЧ сигнала в каждом из 8 каналов. Структурная схема устройства приёмно-передающего модуля представлена на рис. 1.

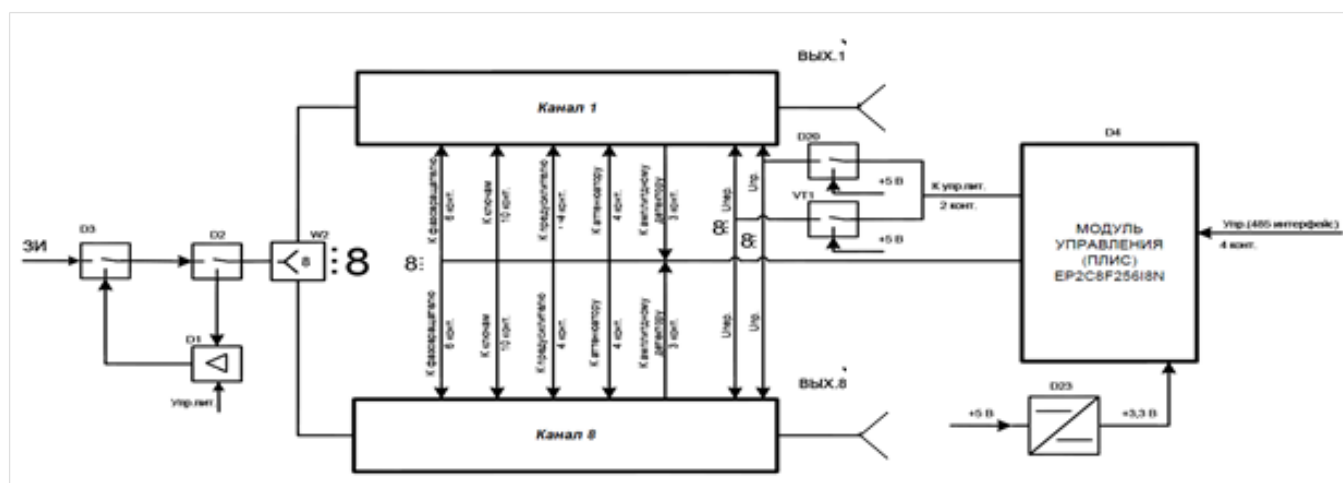


Рисунок 1. Структурная схема устройства приёмо-передающего

На рис. 2. представлена структурная схема одного канала ППМ¹. Макет ППМ включает 8 приёмопередающих каналов. Передающая часть включает твердотельный усилитель мощности. Усиление управляется дискретно. Сигнал, поступающий на ППМ с передатчика делится с помощью делителя

мощности на 8, после чего поступает на входы передающих частей каналов ППМ. Сигнал в каждом канале регулируется по фазе, амплитуде, для чего используются фазовращатель, управляемый усилитель. Приёмная часть канала включает ограничитель, фильтры, МШУ и аттенюатор. Принимаемый сигнал фильтруется, усиливается, регулируется по амплитуде и фазе с помощью дискретных аттенюатора и фазовращателя, суммированию с выходов всех каналов. Передающая и приёмная часть канала объединяются по входам и выходам посредством коммутаторов. Фаза сигнала в режимах передачи и приёма регулируется одним фазовращателем. Несущий элемент конструкции ППМ - экранирующая панель, изготавливаемая из стеклотекстолита FR4 толщиной 0,4 мм. Производство такой платы можно осуществлять печатным способом, что снижает стоимость приёмно-передающего модуля.[\[2\]](#) На неё с одной стороны установлены излучатели, а с другой – устройство приёмно-передающее.

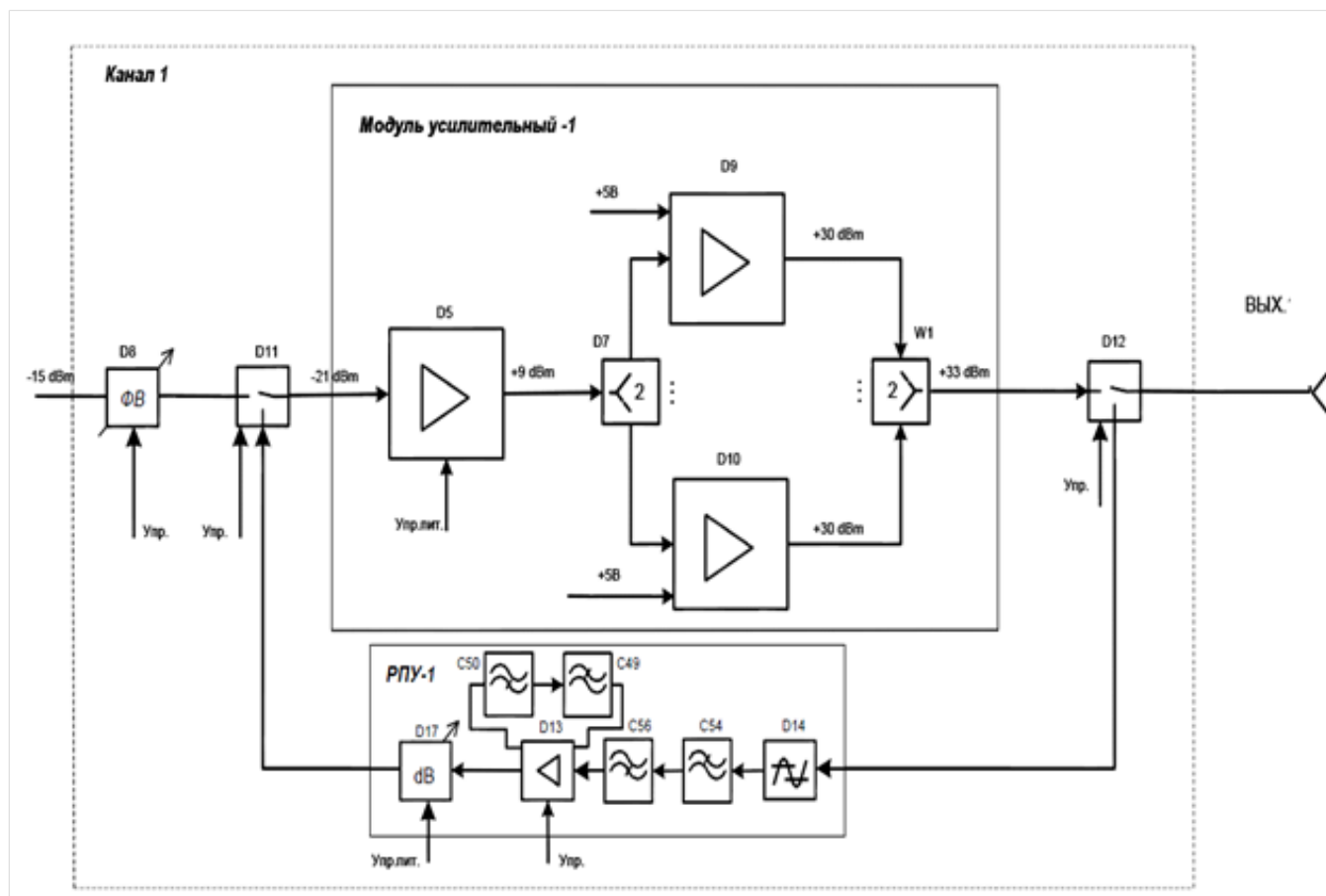


Рисунок 2. Структурная схема одного канала ППМ

Излучатели изготавливаются по 4 на одной стеклотекстолитовой печатной плате толщиной 0,8 мм. С целью повышения жесткости подрешётки по периметру плат излучателей и экранирующей панели установлены рамки из FR4 толщиной 0,7 мм, а платы излучателей скрепляются между собой капролоновыми профилями. Для понижения массы в платах излучателей делаются окна. Размеры макета ППМ с излучателями: 490x175x90 мм.

Габаритные размеры макета ППМ с излучателями составляют 490x175x90 мм. Масса ППМ составляет 450 г.

Разработанная активная фазирующая восьмиканальная антенная решётка цилиндрической формы для использования в активном режиме зондирования лунного грунта позволяет снизить в разы массогабаритные параметры РЛК, для повышения эффективности заполнения пространства устанавливаемого на перелётном модуле при работе в активном режиме.

2.Методики измерения параметров.

Целью проведенных экспериментальных исследований ППМ являлась оценка отдельных электрических характеристик ППМ в режиме приёма и передачи для уточнения характеристик АФАР РЛС. При подготовке экспериментальных исследований макета ППМ (АФАР) разработаны схемы измерений (выходной мощности ППМ, регулировки фазы в режиме передачи и приёма), стендовое оборудование, на котором были осуществлены экспериментальные измерения параметров ППМ.

Для проведения экспериментальных исследований макета ППМ были разработаны методики и схемы измерений, стендовое оборудование. В рамках программы экспериментальных исследований проверялись следующие параметры:

- выходная импульсная мощность одного канала ППМ в режиме диапазон регулировки коэффициента передачи каналов модуля в режиме передачи;
- диапазон регулировки фазы в режиме передачи;
- диапазон регулировки фазы в режиме приёма;
- диапазон регулировки коэффициента передачи в режиме приёма;
- массы ППМ.

Импульсная выходная мощность в режиме передачи измерялась посредством подачи на ППМ импульсного сигнала и измерения мощности на выходах каналов. Использовался измеритель мощности радиосигнала ImmersionRC и 30dB аттенюатор (35Mhz-5.8Ghz). Схема измерений параметров ППМ представлена на рис. 5.

Диапазон регулировки коэффициента передачи измерялся также посредством подачи на вход ППМ импульсного сигнала и последующего измерения диапазона изменений мощности на выходе каналов ППМ при регулировке значения затухания аттенюаторов каналов ППМ.

Диапазон регулировки фазы в режиме передачи измерялся посредством подачи на вход ППМ импульсного сигнала. При этом на выходе каналов ППМ измерялись изменения его фазы. Регулировка значения сдвига фаз осуществлялась в каналах фазовращателей. В режиме приёма величина диапазона регулировки фазы осуществлялась аналогично режиму передачи, но сигнал подавался на антенные входы каналов ППМ.

Диапазон регулировки коэффициента передачи в режиме приёма осуществлялся посредством подачи на антенные входы ППМ сигнала. Измерялся диапазон изменения его мощности на выходе ППМ при регулировке значения затухания аттенюаторов каналов ППМ.

Масса ППМ определялась взвешиванием собранного макета на весах.

Диаграмма направленности измерялась в режиме приёма посредством подачи на измерительную антенну сигнала, который принимался антенными элементами ППМ. Уровень сигнала на выходе измерялся при вращении ППМ на ОПУ² по азимуту в пределах от минус 90° до 90°.

На рис. 5. представлена структурная схема для измерений параметров ППМ



Рисунок 6. Внешний вид рабочего места для измерений параметров ППМ

3. Результаты испытаний приёмно-передающего модуля.

Дополнительно измерялись диаграмма направленности, КСВН³ излучателя в составе подрешётки, потребление энергии модулем.[3]

На рис. 8. приведена частотная зависимость КСВН одного из излучателей, при этом все остальные были нагружены на согласованные нагрузки.

КСВН по всему диапазону не превышает 1,5, что свидетельствует о низком уровне ослабления сигнала в излучателе.

Диаграмма направленности в режиме приёма при направлении максимума 0° и 33° относительно нормали к плоскости экрана приведена на рис. 9а и 9б.

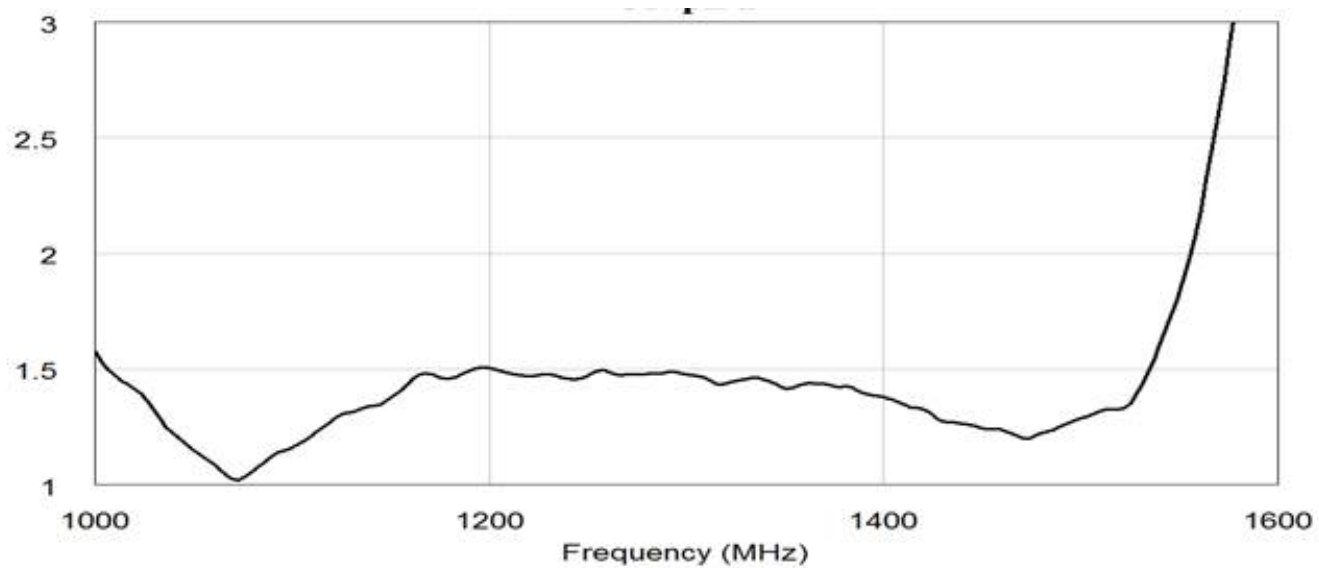


Рисунок 8. График зависимости КСВН излучателя от частоты

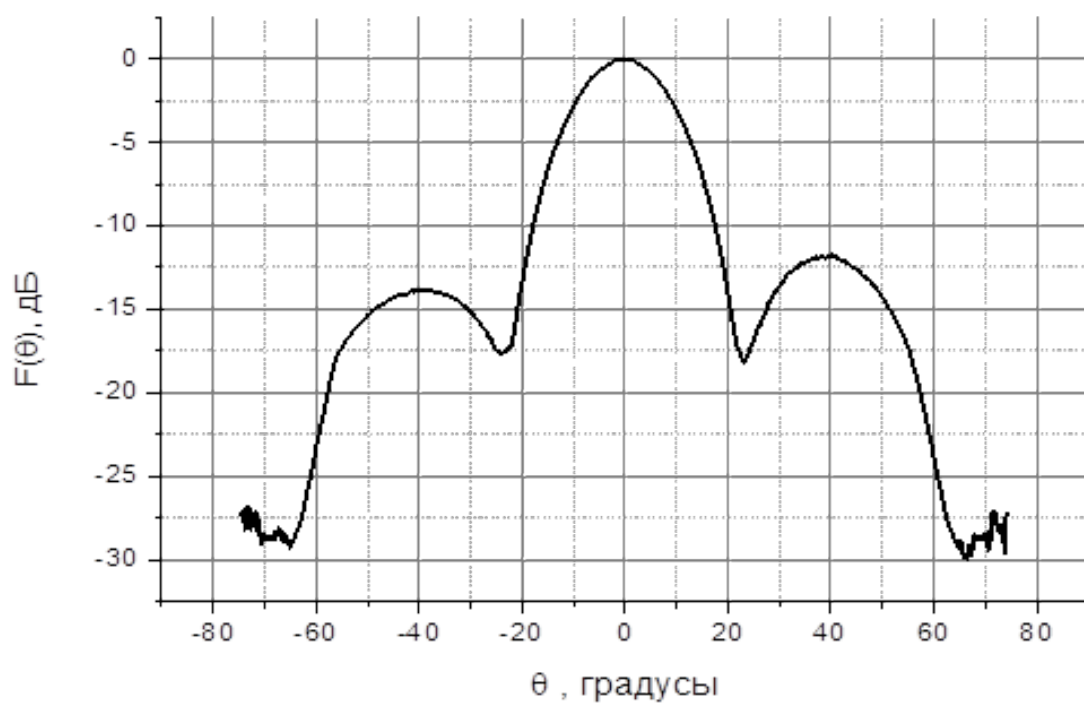


Рисунок 9а. Диаграмма направленности макета ППМ в направлении 0°

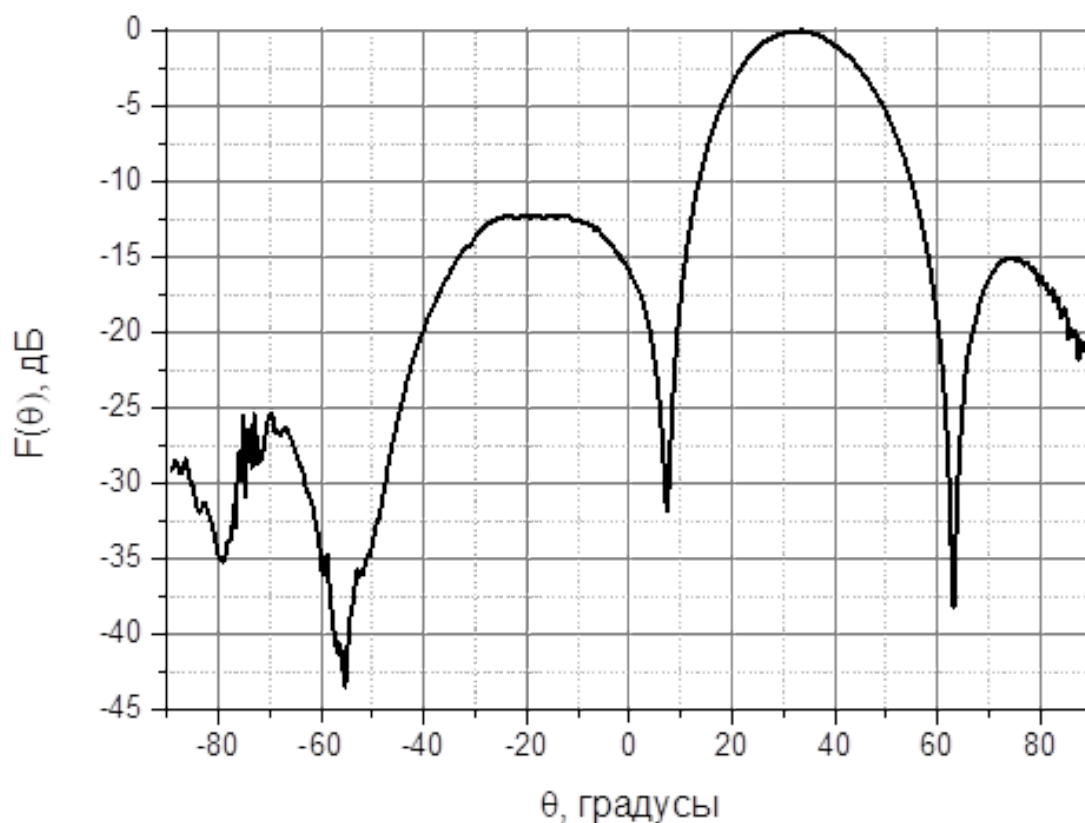


Рисунок 9б. Диаграмма направленности макета ППМ в направлении 33°

Ширина диаграммы направленности по половинчатой мощности без отклонения максимума равна 23°. Это соответствует предварительным расчётам. Оценка КПД ППМ в режиме передачи составила 22,8%.

Проведённые экспериментальные исследования разработанного приёмно-передающего модуля РЛК для зондирования лунного грунта соответствует разработанным техническим требованиям и обеспечивает:

- приём радиосигналов в диапазоне частот 1200-1400 МГц по восьми каналам с независимой регулировкой их фазы в диапазоне не менее 355° с шагом не более 5,625° и амплитуды в диапазоне не менее 28 дБ с шагом не более 1 дБ;
- излучение радиосигналов по 8 каналам с импульсной мощностью не менее 1,5 Вт с независимой регулировкой их фазы в диапазоне не менее 355° с шагом не более 5,625° и амплитуды в диапазоне не менее 28 дБ с шагом не более 1 дБ.
- КСВН излучателя в пределах рабочего диапазона частот не превышает 1,5.
- ширина ДН⁴ по уровню половинной мощности - 23°;
- КПД ППМ в режиме передачи - 22,8%.

Заключение. Результаты измерений массы показывают, что макет ППМ АФАР обеспечивает пространственную сканирование лунного грунта посредством создания узкой диаграммы направленности и её сканирования в пространстве. Она обеспечивает зондирование лунного грунта с высот от 100 км до 150 км и на второй круговой орбите ИСЛ при дальности до 700 км с наименьшим разрешением. Реализация антенной системы на базе обеспечивает формирование расчетного значения формы диаграммы направленности (далее ДН) и высокую гибкость работы РЛС за счет возможности электронного сканирования ДН по заданному алгоритму. Массогабаритные параметры позволяют разместить ППМ на перелётном модуле.

Список литературы:

1. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решёток. Учебное пособие / Подред. Д. И. Воскресенского. — М.: Радиоисвязь, 1994
2. Чернушенко А.М., Петров Б.В., Малорацкий Л.Г. и др. Конструирование экранов и СВЧ-устройств. М.: Радио и связь. 1990
3. Воскресенский Д.И., Канащенков А.И. Активные фазированные антенные решетки. – М. Радиотехника, 2004.

¹ ППМ – приёмно-передающий модуль

² Опорно-поворотное устройство

³ Коэффициент стоячей волны по напряжению

⁴ Диаграмма направленности