

## **Разработка метеорологического пассивно-активного радиолокатора на базе ДМРЛ-С**

Г.Г.Щукин<sup>1</sup>, И.А.Вылегжанин<sup>2</sup>, Д.М.Караваев<sup>1</sup>, В.Ю.Жуков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского  
197198, Санкт-Петербург, Ждановская, 13, e-mail: ggshchukin@mail.ru

<sup>2</sup>ОАО «НПО «Ланозовский электромеханический завод»  
127411, Москва, Дмитровское ш., 110, e-mail: lemez@tsr.ru

*Обсуждается развитие пассивно-активной радиолокации в метеорологии для исследования облаков и осадков. Предложен новый вариант пассивно-активного радиолокатора на базе современного ДМРЛ-С (диапазон частот 5.6 ГГц). Приводятся принцип работы, архитектура радиолокатора и его основные технические характеристики. Радиолокатор предназначен для определения водозапаса облаков, интенсивности осадков, профилей водности мощных конвективных облаков.*

*Discusses the development of passive/active radiolokacii in meteorology for cloud and precipitation. A new version of passive-active radar on the basis of modern DMRL-C (frequency 5.6 GHz). Provides basics of passive-active radar and its architecture, basic technical characteristics. The passive-active radar system is used to determine the cloud liquid, rainfall intensity, profile of supercooled cloud liquid of convective clouds.*

Применение методов пассивной и активной радиолокации позволяет решать ряд задач по исследованию или контролю состояния атмосферы [7,9]. Более 40 лет назад начались исследования по совместному использованию радиолокаторов и радиометров для изучения атмосферы [2,6,8], были определены преимущества комплексного пассивно-активного радиолокационного зондирования атмосферы, как более информативного метода, реализующего достоинства как радиотепловых, так и радиолокационных наблюдений облаков и осадков.

С практической точки зрения перспективное развитие получил радиолокационно-радиометрический метод выявления градоопасных зон переохлажденных облаков [1].

Принцип построения пассивно-активной радиолокационной станции, в классическом понимании, впервые был сформулирован в работах [3,4,6], а практическая реализация получена на базе метеорологического радиолокатора МРЛ-2П. Станция была включена в состав радиотехнического комплекса, создаваемого на полевой экспериментальной базе п. Тургош (Ленинградская область) для изучения конвективных облаков и контроля активных воздействий и использовалась для решения следующих задач: определение водозапаса облаков, определение профилей водности вдоль луча зондирования, оценка содержания мелкокапельной и крупнокапельной фракции водозапаса облака, выявление переохлажденных зон облачных образований с целью предупреждения возможного обледенения самолетов [10,11]. Недавно рассматривался альтернативный вариант встраивания пассивного канала в метеорологический радиолокатор [5], который подразумевал создание экономичного, максимально автономного варианта организации радиометрического канала пассивно-активного радиолокатора на базе МРЛ-5.

Однако, несмотря на успешную экспериментальную апробацию и подтверждение принципиальных возможностей, метод и средства пассивно-активной радиолокации, ввиду объективных трудностей практической реализации, не нашли широкого внедрения в практику метеорологических оперативных наблюдений.

В работе рассматривается новый вариант построения пассивно-активного радиолокатора на базе ДМРЛ-С (частота 5.6 ГГц) для зондирования облаков и осадков,

приводятся первые результаты разработки и технической реализации проекта. Особенностью данного варианта пассивно-активной станции является возможность работы пассивно-активной станции в стандартном режиме оперативного сбора данных, применение при обработке данных адаптивной системы борьбы с помехами.

### **Измерение водности облаков и интенсивности осадков**

Известно, что радиолокационному методу определения водности облаков и интенсивности дождей на основе использования корреляционных связи радиолокационной отражаемости с искомыми метеопараметрами атмосферы присущи существенные погрешности, обусловленные региональной зависимостью этих связей от сопутствующих метеоусловий. С физической точки зрения это объясняется сильной зависимостью радиолокационной отражаемости от распределения частиц облаков или осадков по размерам. Для повышения точности определения водности облаков и интенсивности осадков в [6,8,9,11] рассматривается пассивно-активный метод.

Пассивно-активный метод определения средней водности конвективных облаков основан на измерении водозапаса зондируемой зоны с помощью микроволнового радиометра и ее протяженности с помощью активного канала пассивно-активной станции. В соответствии с этим методом среднюю водность облака  $\bar{w}(\vec{l})$  вдоль направления зондирования определяют по соотношению:

$$\bar{w}(\vec{l}) = \frac{W(\vec{l})}{L(\vec{l})},$$

где  $L(\vec{l})$  - протяженность зондируемой зоны облака (дождя), определяемая с помощью активного канала (радиолокатора);

$W(\vec{l})$  - водозапас облака вдоль направления визирования, определяемый с помощью радиометра.

Для перехода от водности к интенсивности дождя используются соотношения [11]:

$$I = 3,4 \omega^{1,33} \text{ при } \omega \leq 0,32 \text{ г/м}^3,$$
$$I = 2,8 \omega^{1,17} \text{ при } \omega > 0,32 \text{ г/м}^3$$

### **Архитектура пассивно-активного радиолокатора**

Современный вариант пассивно-активной радиолокационной станции (ПАРЛС) может быть построен на базе ДМРЛ-С (несущая частота 5.625 ГГц). При разработке новой ПАРЛС были сформулированы основные требования, которые определили выбор схемотехнического решения: а) радиолокационные и радиотеплокационные характеристики атмосферных образований должны получаться одновременно в реальном времени из одной и той же области исследуемого пространства, причем должны соблюдаться принципы синхронности и одинаковой направленности; б) должны быть обеспечены условия электромагнитной совместимости активного и пассивного каналов, уровень развязки должен быть не менее 140 дБ, должны быть разработаны специальные средства или методы с борьбы с помехами; в) должны быть обеспечены минимальные изменения конструктивно-технических решений ДМРЛ-С.

В качестве основного рассматривался вариант ПАРЛС, обеспечивающий совмещенную и одновременную работу радиометрического канала с радиолокационным каналом при использовании общей (штатной) антенны и антенно-волноводного тракта ДМРЛ-С.

Упрощенная структурная схема пассивно-активного радиолокатора на базе ДМРЛ-С приводится на рис.1.

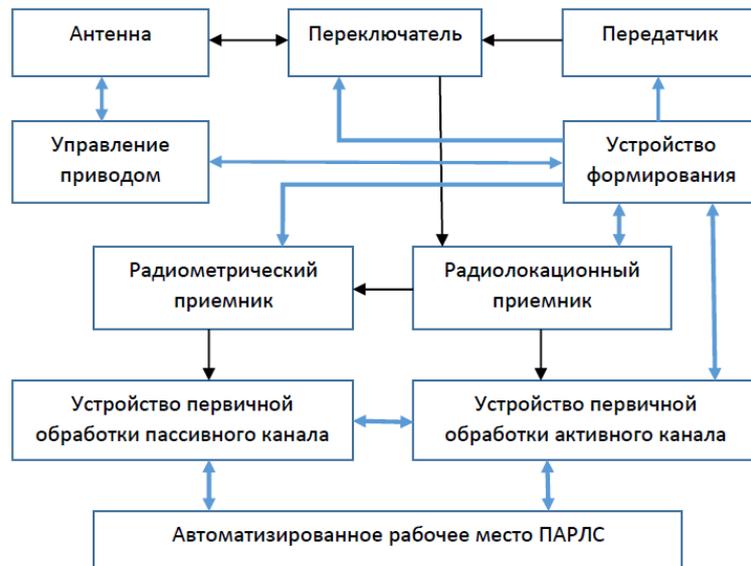
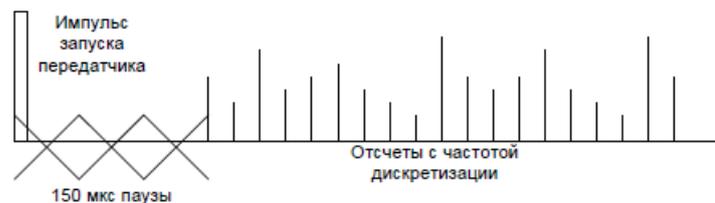
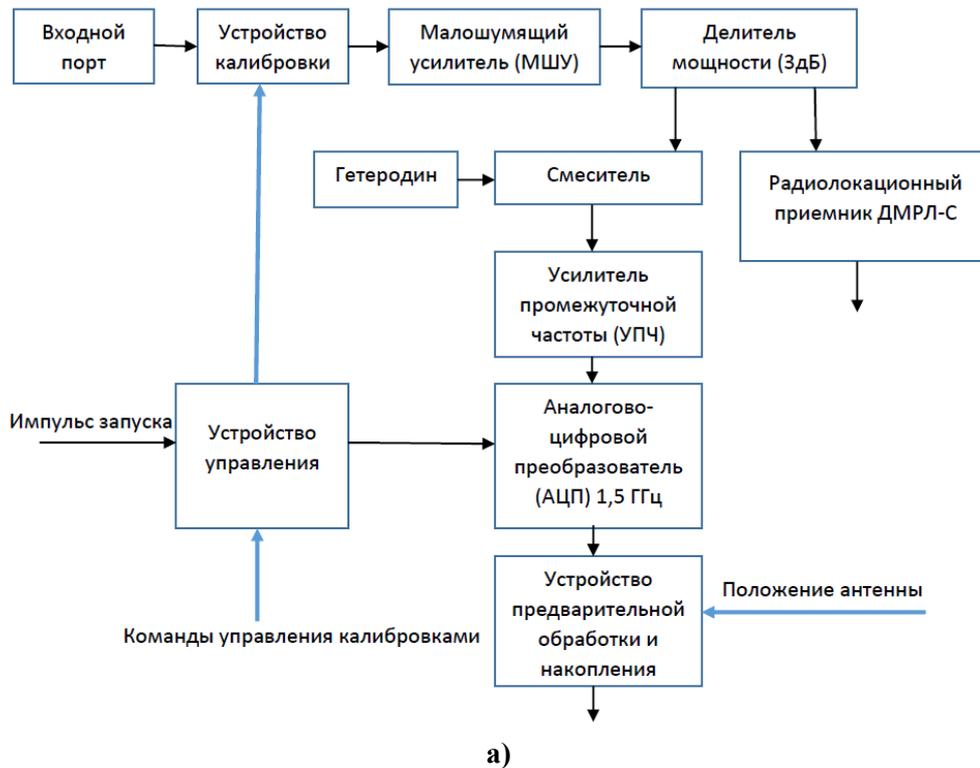


Рис.1. Упрощенная структурная схема пассивно-активной станции ДМРЛ-С



а)

Рис.2. Схема радиометрического канала пассивно-активной станции ДМРЛ-С (а); диаграмма запуска АЦП (б)

Как следует из рисунка, радиометрический и радиолокационный приемники имеют общий антенно-волноводный тракт, имеют отдельные системы предварительной обработки данных, при этом работа радиометрического канала синхронизирована с работой передатчика ДМРЛ-С.

Схема радиометрического канала пассивно-активного радиолокатора ДМРЛ-С приводится на рис.2. В состав радиометра входят: блок калибровок, малошумящий усилитель, супергетеродинный радиометрический приемник, аналого-цифровой преобразователь АЦП (разрешение 8 разрядов, полоса 1.5 ГГц), блок предварительной обработки. Радиометр предназначен для измерения спектра радиотеплового излучения, принятого антенной ДМРЛ-С на частотах в диапазоне от 5.25 ГГц до 6 ГГц. Радиометр относится к классу компенсационных радиометров, на входе радиометрического приемника используется малошумящий СВЧ-усилитель МШУ (коэффициент шума менее 2 дБ). Для контроля калибровки радиометра на входе используется блок калибровок, формирующий два уровня входных антенных температур.

Функции сбора обработки, накопления, архивирования радиометрических данных выполняет аппаратно-программный комплекс радиометра. Программное обеспечение системы радиометрических измерений ДМРЛ-С выполняет следующие функции: оцифровывает сигнал с тактовой частотой 1.5 ГГц с синхронизацией по импульсу запуска (рис.2б); радиометрический сигнал обрабатывается в реальном времени в полосе частот 680 МГц (внеполосное подавление фильтра составляет 38÷40 дБ); формируются 18 элементарных частотных отрезков, каждый с шириной полосы частот 37 МГц; в каждом канале фильтруются внешние помехи и рассчитывается среднее значение мощности; рассчитанные значения средней мощности каждые 10 мс синхронизируются с текущими угловыми параметрами антенны получаемые по интерфейсу Ethernet; полученные значения мощности записываются в файл для дальнейшей обработки и передачи по интерфейсу Ethernet. Каждую секунду формируется один файл, где записываются результаты измерения для каждого частотного поддиапазона за последнюю секунду с привязкой к угловым координатам (азимут, угол места).

Предлагаемый вариант радиометра не требует принципиальных изменений конструкции входного антенно-волноводного тракта ДМРЛ-С, а радиометрическое приемное устройство гармонично вписывается в конструкцию приемной стойки радиолокатора. Использование современных малошумящих усилителей СВЧ позволяет проводить наблюдения атмосферы в стандартном режиме радиолокационного обзора, этим предлагаемый вариант ПАРЛС принципиально отличается от первых разработок пассивно-активных радиолокационных станций. Учитывая также экономические показатели пассивно-активный радиолокатор на базе ДМРЛ-С является перспективной разработкой для внедрения в оперативную практику метеорологических наблюдений с помощью создаваемой сети радиолокаторов на территории России.

### **Заключение**

Обсуждаются принципы построения пассивно-активного радиолокатора нового поколения. Предложен вариант на базе современного доплеровского радиолокатора ДМРЛ-С 5.6 ГГц, обеспечивающий синхронную работу пассивного и активного каналов в стандартных режимах наблюдений. При построении пассивно-активного радиолокатора использованы принципы частотно-временной развязки сигналов, реализованы алгоритмы цифровой обработки. Включение радиометрического канала в ДМРЛ-С позволит повысить точности определения водозапаса облаков, интенсивности осадков и профилей водности мощных конвективных облаков.

## Литература

1. Абшаев М.Т., Кармов Х.Н., Активно-пассивный метод обнаружения градовых очагов в кучево-дождевых облаках. Труды ВГИ, 1976, вып.33. -С.43-46.
2. Башаринов А.Е., Горелик А.Г. Калашников В.В., Кутуза Б.Г. Совместные радиотепловые и радиолокационные измерения метеопараметров облаков. Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1970, т.6, №5. -С.526-530.
3. Горностаев Н.В., Новоселов А.И., Петрушевский В.А., Сальман Е.М., Федоров А.А., Шевела Г.Ф., Щукин Г.Г. Пассивно-активная радиолокационная станция для исследования атмосферы. Труды ГГО, 1975, вып. 328. -С.120-124.
4. Горностаев Н.В., Новоселов А.И., Петрушевский В.А., Сальман Е.М., Федоров А.А., Шевела Г.Ф., Щукин Г.Г. Метеорологическая радиолокационная станция. Авторское свидетельство №89466, 1975 (приоритет от 1972г.).
5. Рыбаков Ю.В., Щукин Г.Г. Альтернативный вариант встраивания пассивного канала в метеолокатор МРЛ-5. Сборник докладов II Всероссийской конференции «сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике». МИВлГУ, Муром, 2006. -С.503-504.
6. Сальман Е.Н., Щукин Г.Г. О возможности определения интенсивности жидких осадков методом пассивной и активной радиолокации. Рефераты докладов на Всесоюзной конференции по радиометеорологии. 19-21 июня 1972г. Фрунзе. -С.106-110.
7. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии.-Л.:Гидрометеиздат, 1973.-342с.
8. Степаненко В.Д. Способ определения средней водности облаков с помощью радиотеплолокационной и радиолокационной аппаратуры. Инф. Сборник ЛВИКА им. А.Ф.Можайского, 1968, №92.
9. Степаненко В.Д., Щукин Г.Г, Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплолокация в метеорологии.-Л.:Гидрометеиздат,1987, 283с.
10. Тарабукин И.А., Караваяев Д.М., Попова Н.Д., Щукин Г.Г. Автоматизированное пассивно-активное зондирование облачной атмосферы. Труды ГГО. Экспериментальная метеорология, 1995, вып. 545, -С.53-60.
11. Щукин Г.Г., Булкин В.В. Метеорологические пассивно-активные радиолокационные системы.-2009, Муром: ИПЦ МИВлГУ, 166с.