

С.В. ЮДИН, В.Н. ОЛЕЙНИКОВ, канд. техн. наук, Д.Б. ЕВСЕЕВ, канд. техн. наук,  
О.А. СОЛЯНИК, канд. техн. наук

## ПРИМЕНЕНИЕ ЗАЩИТНОЙ БЛЕНДЫ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОМЕХИ В АТМОСФЕРНОЙ РЛС ВЗ

РЛС ВЗ S-диапазона Харьковского национального университета радиоэлектроники, предназначена для исследования вертикальной структуры облачности, осадков, скорости и направления ветра с высоким временным и пространственным разрешением. Для уменьшения влияния отражений от подстилающей поверхности и местных предметов на получаемую информацию, в РЛС ВЗ используются помехозащищенные прямофокусные параболические антенны. Подавление отражений от наземных объектов в антенной системе РЛС обеспечивается при помощи конических бленд. В работе рассмотрены вопросы оптимизации конструкции защитной бленды, приведены результаты моделирования и экспериментального исследования антенной системы с конической блендой.

Системы метеорологического обеспечения становятся обязательным компонентом автоматизированных систем управления воздушным движением, для обеспечения работы которых необходима своевременная, достоверная и детальная информация о динамическом состоянии атмосферы, включая данные о скорости и направлении ветра на разных высотах. Такую информацию можно получить с использованием атмосферной станцией вертикального зондирования (РЛС ВЗ). В США [1], Европе [2] и Японии [3] созданы сети радиолокационных станций вертикального зондирования атмосферы.

Наибольшее распространение на сегодняшний день получили РЛС ВЗ, работающие в метровом или дециметровом диапазонах длин волн. Для обеспечения необходимого высотного диапазона (до 18 км [4]) они имеют высокий энергетический потенциал, что обеспечивается антенными системами неприемлемо больших размеров и мощными передающими устройствами [4]. Источниками информации о динамических параметрах атмосферы являются отражения от масштабных границ изменения диэлектрической проницаемости атмосферы, вызванной турбулентными процессами.

Атмосферные РЛС, работающие в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн, имеют существенно меньшие размеры по сравнению с аналогичными системами метрового и дециметрового диапазонов. Такие системы позволяют получать информацию о динамических параметрах атмосферы только при наличии гидрометеоров.

В последнее время проявляется интерес к атмосферным РЛС, работающим в диапазоне 3 ГГц (S-диапазон). На этих частотах достаточно хорошо регистрируется структура облаков, осадков, крупных атмосферных образований, при этом еще сохраняется возможность работы по отражениям от ясного неба (по турбулентным неоднородностям), что позволяет получать профиль скорости и направления ветра.

РЛС ВЗ S-диапазона Харьковского национального университета радиоэлектроники предназначена для изучения вертикальной структуры облачности, осадков, измерения скорости и направления ветра с высоким временным и высотным разрешением. Имеется возможность проведения поляриметрических измерений.

Основные технические характеристики РЛС ВЗ:

• Рабочая частота	2.45 ГГц
• Импульсная мощность	0.5 кВт
• Диаметр приемной и передающей антенн	1.8 м
• Длительность зондирующего импульса	0.4 мкс
• Разрешение по высоте	60 м
• Высотный диапазон зондирования:	
работа по атмосферным неоднородностям	до 4 – 5 км
работа по гидрометеорам	до 12 – 16 км

В антенную систему РЛС входят две прямофокусные параболические однозеркальные антенны с рупорными облучателями. Эти антенны используются для передачи и приёма рассеянного сигнала. Ширина диаграммы направленности антенн по уровню 3 дБ составляет 4,5°, коэффициент усиления 30,5 дБ. Антенная система установлена на крыше здания, на высоте 20 м от поверхности земли.

Объектом исследования РЛС ВЗ являются метеообъекты и турбулентные неоднородности атмосферы, эффективная площадь рассеивания (ЭПР) которых на несколько порядков меньше ЭПР подстилающей поверхности и местных предметов. Наличие в антенных системах побочных каналов излучения и приёма по боковым лепесткам диаграммы направленности приводит к возникновению помехи, вызванной отражением от подстилающей поверхности и местных предметов – так называемой земной помехи (ЗП) [5].

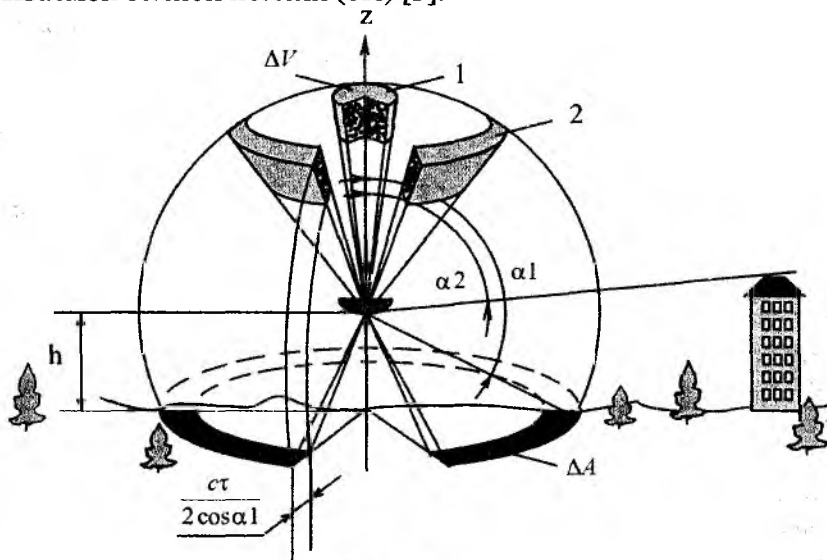


Рис. 1

Особенности формирования отраженного сигнала в РЛС ВЗ проиллюстрированы на рис. 1, где 1 – главный лепесток ДН, 2 – первый боковой лепесток,  $\Delta V$  – импульсный объем главного лепестка ДН антенны,  $\Delta A$  – участок поверхности земли, на котором формируется сигнал земной помехи. Полезный сигнал формируется отражениями от неоднородностей диэлектрической проницаемости атмосферы, которые заключены в импульсном объеме главного лепестка ДН антенны  $\Delta V$ , высота которого определяется длительности зондирующего импульса. Некоторый вклад при отражении от атмосферных неоднородностей вносят боковые лепестки, так первый боковой лепесток при уровне – 12,8 дБ дает вклад 2 %) [4]. Сумма ЭПР  $\sigma_j$  по рассеивающему объему, нормированная на  $\Delta V$ , определяет единичную эффективную площадь рассеивания:

$$\eta = (\Delta V)^{-1} \cdot \sum_{\Delta V} \sigma_j. \quad (1)$$

Отраженный сигнал, принятый из импульсного объема  $\Delta V$ , может являться комбинацией различных видов и условий рассеяния: брэгговское рассеяние, френелевское, рассеяние на одной или нескольких неоднородностях.

Сигнал земной помехи формируется отражающими объектами, расположенными на поверхности земли, которые находятся на площади кольца  $\Delta A$  шириной  $\frac{c\tau}{2 \cos \alpha_1}$ , рис.1.

Единичная эффективная площадь рассеивания вызывающая земную помеху, определяется как

$$\eta_n = (\Delta A)^{-1} \cdot \sum_{\Delta A} \sigma_i. \quad (2)$$

где  $\sigma_1$  – ЭПР переотражателей, находящихся на площади  $\Delta A$  в пределах действия длительности зондирующего импульса.

Мощность сигнала, отраженного от наземных объектов, убывает обратно пропорционально третьей степени расстояния, в то время как мощность сигнала, отраженного от метеообразований, убывает пропорционально квадрату расстояния [5]. Воздействие ЗП наиболее сильно проявляется на малых расстояниях, и для подавления ЗП необходимо уменьшать уровень боковых лепестков ДН в секторах воздействия ЗП.

При обработке рассеянного сигнала в РЛС ВЗ оцениваются три первых момента спектра: мощность отраженного сигнала, средняя доплеровская частота и ширина спектра. Наличие земной помехи, принятой по боковым лепесткам ДН, приводит к смещению оценок моментов спектра доплеровского сигнала. Снижение степени воздействия ЗП возможно путём применения цифровых режекторных фильтров, настроенных на подавление сигналов нулевой частоты [6].

Следует отметить, что воздействие ЗП на входные цепи приёмного устройства приводит к уменьшению его динамического диапазона, при этом увеличивается минимальная высота зондирования. Подавление боковых излучений антенны позволяет уменьшить воздействие ЗП на радиоприёмное устройство, повысить эффективность цифровой обработки рассеянных сигналов.

Влияние бленд на боковое излучение зеркальных антенн рассмотрено в [7 – 9], где применение бленд приводит к снижению уровня излучения в теневом направлении и повышает электромагнитную совместимость систем связи. Для решения задачи подавления ЗП в РЛС ВЗ требуется подавление в сравнительно небольшом секторе углов ДН от  $75^\circ$  до  $100^\circ$ .

В работе [7] дан качественный анализ и приведены результаты эксперимента по проверке эффективности действия цилиндрической бленды, которые показали, что цилиндрические бленды позволяют уменьшить на 10 дБ уровень ДН в задней полусфере.

Согласно результатам, полученным в исследованиях [7 – 9], антенна с конической блендой обладает преимуществом перед антенной с цилиндрической блендой, поскольку в ней происходит меньшее количество переотражений от внутренней поверхности бленды.

Эскиз прямофокусной параболической антенны с конической блендой изображен на рис.2.

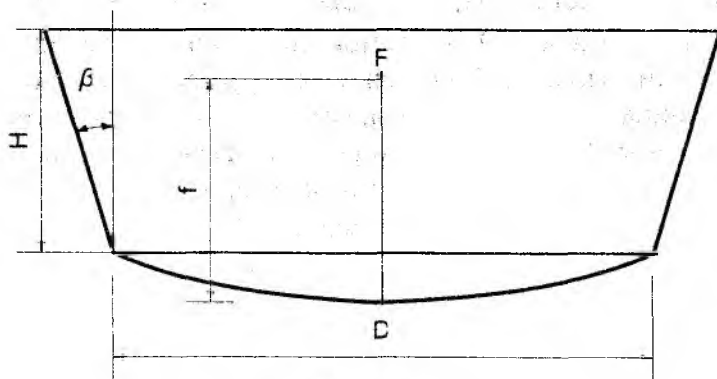


Рис. 2

### Моделирование бленды для прямофокусной параболической антенны

Определение оптимальных параметров бленды для подавления земной помехи в атмосферной РЛС ВЗ проведено с помощью метода компьютерного моделирования с использованием пакета программ Ansoft HFSS 11, в котором методом конечных элементов производится расчет интегральных уравнений электромагнитного поля для трехмерных структур произвольной формы.

Коэффициент защитного действия антенны (КЗД) выразим как отношение интенсивности излучения  $P_{эл}$  в секторе воздействия земной помехи к интенсивности излучения  $P_{гл}$  в направлении главного лепестка ДН:

$$KЗД = \frac{\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} F^2(\theta, \varphi) \theta d\theta}{\int_{-\delta/2}^{\delta/2} F^2(\theta, \varphi) \theta d\theta}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – ширина диаграммы направленности по уровню  $-3$  дБ, а  $F^2(\theta, \varphi)$  нормированная ДН антенны,  $\alpha_1, \alpha_2$  (рис. 1) – границы сектора, в котором проявляется действие ЗП.

Коэффициент эффективности подавления земной помехи будем определять как отношение коэффициента защитного действия антенны с блендой  $KЗД_{бл}$  к коэффициенту защитного действия антенны без бленды  $KЗД_{нар}$ :

$$K_{эзн} = KЗД_{бл} / KЗД_{нар}$$

При моделировании использовалась параболическая антенна диаметром  $3.69 \lambda$  с фокусным расстоянием  $1.54 \lambda$ . Моделирование проводилось для конической бленды высотой  $H$ , основание которой совпадало с краем параболического зеркала. Исследование характера поведения уровня боковых лепестков проводилось для сектора углов  $\alpha_1 = 75^\circ \dots \alpha_2 = 100^\circ$ . Выбранный сектор углов определяется высотой установки антенны, минимальной высотой зондирования (мёртвое время) и особенностью высот рельефа ландшафта и местных предметов в месте расположения РЛС ВЗ.

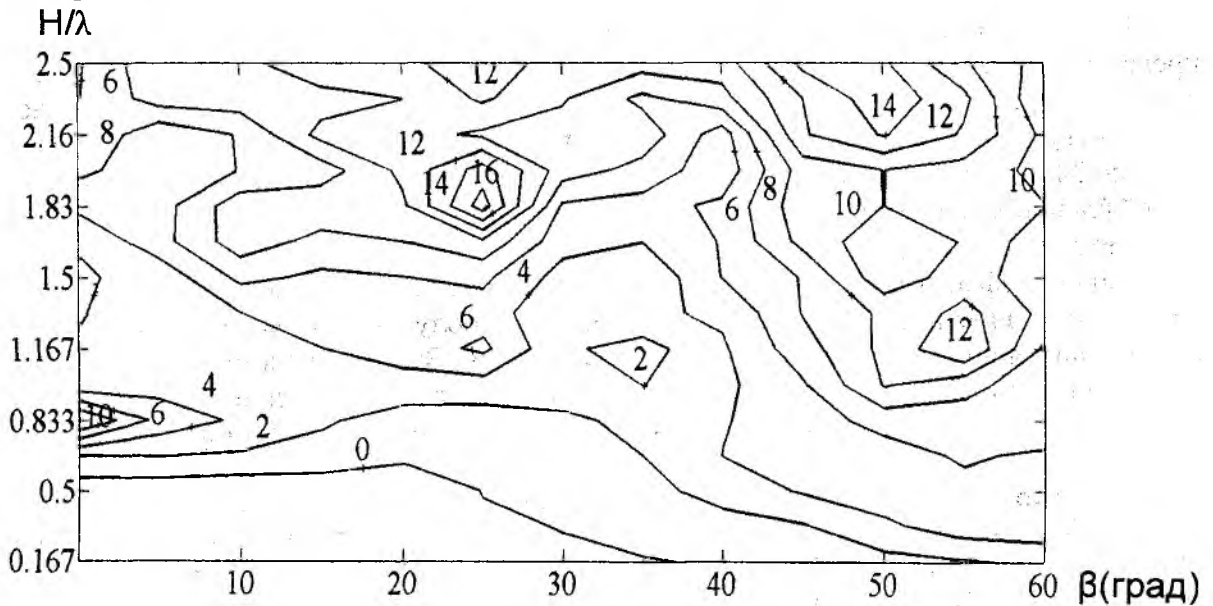


Рис. 3

Получена зависимость коэффициента эффективности подавления земной помехи  $K_{эзн}$  в функции её высоты  $H$  и угла раскрыва  $\beta$ , рис.3. Зависимость носит многомодальный характер, максимальный  $K_{эзн}$  параболической антенны с блендой достигается при высоте бленды  $H = 1.8 \lambda$  и угле раскрыва бленды  $\gamma = 25^\circ$  и составляет  $16$  дБ.

Эффективность подавления ЗП на РЛС ВЗ S диапазона проверена экспериментально, для чего проведена серия сеансов зондирования. Отраженный сигнал (рис. 4), полученный на РЛС ВЗ содержит отражения от наземных объектов, которые сосредоточены в основном на расстоянии до  $1$  км. Но и на более дальнем расстоянии также присутствуют единичные отражения, например отражение от телевизионной мачты (4) находящейся на расстоянии  $3,4$  км от РЛС. Сеансы зондирования проводились с различной конфигурацией антенной

системы: антенны без бленд (1), с блендой на приёмной антенне (2), с блендами установленными на передающую и приёмную антенны (3).

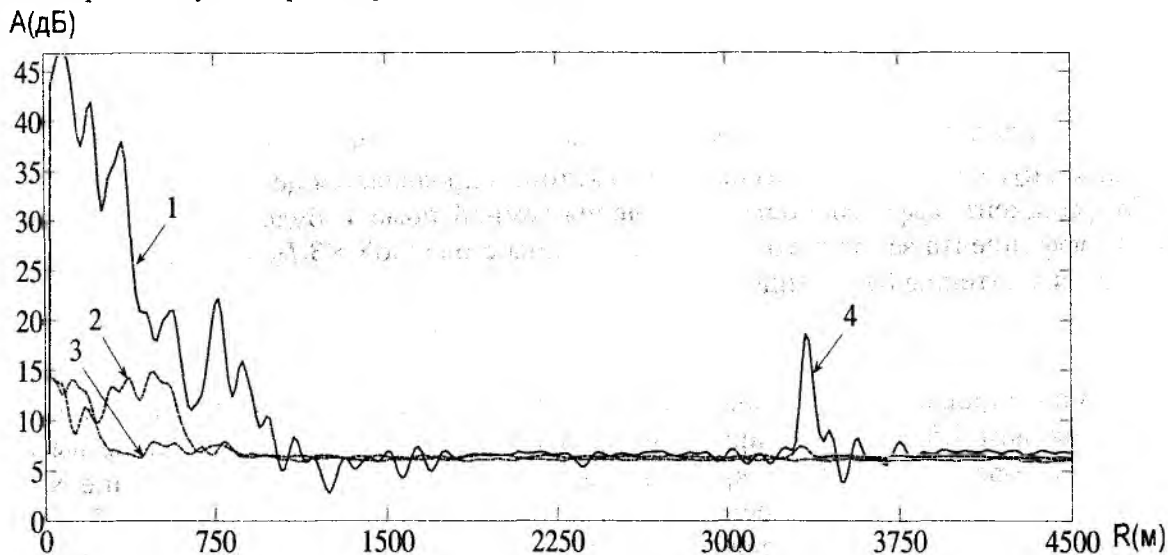


Рис. 4

Применение бленд на приёмной и передающей антеннах РЛС ВЗ приводит к перераспределению боковых лепестков ДН антенн, поэтому коэффициент эффективности подавления ЗП для разных расстояний зондирования различен. Это приводит к тому, что по результатам натурных экспериментов коэффициент эффективности подавления ЗП, изменяется от -5 до 34 дБ. Средний коэффициент эффективности подавления ЗП для случая применения одной бленды составил 15 дБ, для двух бленд 17.5 дБ.

Результаты натурных экспериментов подтверждают результаты математического моделирования, и эффективность этого метода подавления земной помехи в РЛС ВЗ. Коэффициент эффективности подавления земной помехи, полученный экспериментальным путём меньше полученного по результатам моделирования. Это объясняется наличием в экспериментальной антенной системе конструктивных элементов не описанных в модели, неточностью изготовления бленд, и взаимным влиянием передающей и приёмной антенн.

**Список литературы:** 1. Margot H. Ackley NOAA Profiler network technical review. – 2004. – 164 с. 2. WINPROF Programme: Final Report Meteorologisches observatorium Lindenberg may 4, 2005. 3. Long term observation using L – band wind profiler in Asia. Ohno Yichi, Nipha Leelaruji, Atma R. Jain . Journal of the Communications Research Labaratory. Vol.49, № 2.– 2002. – С. 217-224. 4. Дистанционные методы и средства исследования процессов в атмосфере Земли / Под общ. ред.. Кашеева Б.Л., Прошкина Е.Г., Лагутина М. Ф. Харьков : ХНУРЭ; Бизнес Информ, 2002. – 426 с. 5. Довиак, Р., Зрнич, Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. – Л. : Гидрометеиздат, 1988. – 512 с. 9. Литвин-Попович, А.И., Олейников, В.Н. Применение вейвлет-фильтрации для подавления земной помехи в РЛС вертикального зондирования атмосферы // Прикладная радиоэлектроника. – 2008. – Т. 7, № 1. – С. 30-36. 10. Нарбут, В.П. О влиянии противофоновых отражающих экранов на боковое излучение зеркальных антенн // Радиотехника и электроника. – 1976. – № 10.- С. 2205-2210. 11. Ямпольский, В.Г., Фролов, О.П. Антенны и ЭМС. – М. : Радио и связь, 1983. – 272 с. 12. Вуд, П. Анализ и проектирование зеркальных антенн : пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1984. – 208с.