



**ОЦЕНКА ФЛУКТУАЦИЙ
ЗОНДИРУЮЩЕГО ПАКЕТА ПРИ
РАДИОАКУСТИЧЕСКОМ
ЗОНДИРОВАНИИ**

ПАНЧЕНКО А.Ю.

Приводятся результаты аналитических исследований и численного моделирования, которые показывают связь параметров принимаемого сигнала с флуктуационными добавками характеристик пакета при различных реализациях антенного устройства системы РАЗ. Оценивается возможность выделения количественной информации о флуктуациях пространственного положения, отражательных свойств и скорости движения зондирующего акустического пакета и его отдельных участков. Моделирование флуктуаций проводится с учетом основных теоретических положений динамики атмосферного пограничного слоя.

Системы радиоакустического зондирования (РАЗ) позволяют определять текущие значения метеорологических параметров в нижней части тропосферы – атмосферном пограничном слое (АПС) [1]. Это имеет важное значение, в частности при радиотехническом контроле природных объектов. Развитие электронной, вычислительной и антенной техники, теории волновых явлений и динамики атмосферы расширяет возможности метода РАЗ и привлекает к нему специалистов ведущих стран мира – регулярно проводятся международные симпозиумы «ISARS».

Системы РАЗ позволяют в широком диапазоне метеоусловий измерять температуру и скорость ветра. Имеются успешные результаты по измерению влажности. Непосредственно эти измерения позволяют получить информацию о мгновенных и средних значениях метеовеличин. Статистическая обработка результатов наблюдений дает возможность вычислить их флуктуационные характеристики, однако спектр измеряемых флуктуаций существенно ограничен сверху. Верхняя частота не превышает частоту зондирующих посылок, которая определяется временем прохождения акустического пакета по трассе и составляет единицы-десятки секунд. В частности, чтобы по флуктуациям скорости ветра, измеренного методом РАЗ [2], получить состоятельную оценку коэффициента турбулентной диффузии [3], который необходим для восстановления высотных профилей показателя преломления [4], наблюдения проводились в ночное время.

Атмосферная турбулентность непосредственно воздействует на зондирующий пакет, который нахо-

дится в данный момент на трассе. Методика прямого получения информации о флуктуациях пакета в совокупности с современными теоретическими достижениями в области динамики турбулентных потоков является основой для создания более совершенных способов вычисления параметров атмосферной турбулентности. Поэтому задача определения флуктуационных характеристик зондирующего пакета является актуальной.

Метод РАЗ предполагает получение информации путем облучения зондирующего акустического пакета электромагнитными волнами, которые после отражения от неоднородностей диэлектрической проницаемости воздуха, вызванных прохождением звуковых волн, будут приняты и обработаны в приемно-аналитическом устройстве. Теоретическая часть разработки метода РАЗ заключается в решении задачи дифракции ЭМВ на акустическом пакете. Для бестурбулентной однородной атмосферы решение представлено в [5], дальнейшее развитие, предусматривающее поиск путей оценки характеристик турбулентных потоков, – в [6]. При воздействии турбулентности происходит разрушение регулярной структуры пакета, степень которого можно определить, сравнивая сигналы, отраженные от различных участков. При этом радиоантенны должны иметь более узкие диаграммы направленности (ДН), чем акустический излучатель (АИ), и возможность управлять направлением главного максимума в пределах ДН АИ для сканирования зондирующего пакета.

Целью данной работы является поиск путей оценки параметров атмосферной турбулентности с помощью РАЗ. В строгой постановке задача определения сигнала при РАЗ турбулентной атмосферы достаточно объемна [6]. Поэтому в данной работе представлены только конечные результаты, которыми являются функции связи, условия их получения, анализ поведения и некоторые практические выводы.

1. Условия и постановка задачи

В соответствии с основными положениями теории турбулентных потоков [7] характерный размер вихрей пропорционален расстоянию до границы потока. В АПС определяющим фактором является состояние подстилающей поверхности. Исходя из геометрической схемы РАЗ [1], можно с высокой степенью достоверности считать, что радиус корреляции параметров потока соизмерим или больше размеров области, занимаемой зондирующим пакетом. Значительное уменьшение размеров вихрей соответствует столь большим значениям коэффициента турбулентной диффузии, что АПС по всей толщине будет представлять собой практически однородный слой или слой, параметры которого можно с достаточной точностью вычислить по приземным градиентным измерениям, как это сделано для показателя преломления в [8]. Поэтому можно ограничиться случаем, при котором размер вихрей соизмерим или превышает размер зондирующего пакета. Тогда, не отдавая приоритет каким-

либо теориям атмосферной турбулентности [7], можно сказать, что ее воздействие в пределах пакета вызывает плавное изменение параметров атмосферы, что приводит к плавным изменениям формы и параметров пакета, и в первом приближении достаточно рассмотреть линейное смещение и деформацию поверхности фазовых фронтов акустических волн. Линейное смещение приводит к общему сдвигу пакета и соответственному переносу пятна сфокусированного отраженного поля. Это явление было исследовано и получило практическую реализацию в виде метода измерения скорости ветра [3], который длительное время использовался при практических метеонаблюдениях. Вращение пакета вокруг вертикальной оси не приводит к изменению отраженного поля, поэтому далее рассматриваются поворот вокруг горизонтальной оси и деформация. Геометрическая схема задачи отражения от участка пакета с учетом этих факторов приведена на рис. 1. Здесь \vec{r}_a – полное перемещение участка пакета; $\vec{r}_F(\vec{n})$ – флуктуационное перемещение участка пакета; \vec{r}_e и \vec{r}_n – пути падающей и отраженной электромагнитных волн. Пунктиром показано положение участка в невозмущенной атмосфере.

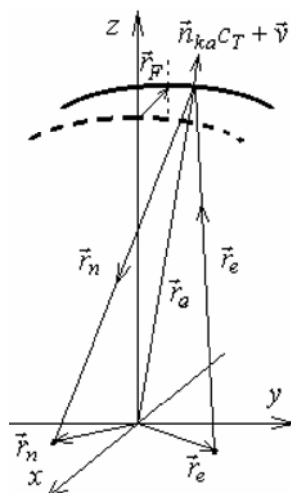


Рис. 1. Схема движения волн при РАЗ

Записывая выражение для $\vec{r}_F(\vec{n})$ в виде ряда, имеем:

$$\vec{r}_F(\theta, \varphi) = \vec{n} \Delta r_{F1} \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_1) + \vec{n} \Delta r_{F2} [\sin \theta (1 + \Delta_2 \cos(\varphi - \varphi_2))]^2 + \dots \quad (1)$$

где Δr_{F1} , Δr_{F2} – коэффициенты ряда разложения $\vec{r}_F(\theta, \varphi)$; Δ_2 – коэффициент асимметрии искривления; φ_1 и φ_2 – направление наклона деформаций.

2. Основные соотношения

Интегрируя сигнал, отраженный всей поверхностью фронта звуковой волны и пришедший в точку приема, в соответствии с результатами [6,7], для комплексной амплитуды получаем:

$$I_{\Theta\varphi} = \frac{1}{r} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} \exp \{ ik_e \vec{n} [\vec{r}_{e0} + \vec{r}_e + \vec{r}_{n0} + \vec{r}_n - 2(\vec{r}_a + \vec{v}(\vec{r}))t] - 2ik_e [\Delta r_{F1} \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_1) + \Delta r_{F2} \cdot [\sin \theta (1 + \Delta_2 \cos(\varphi - \varphi_2))]^2 + \dots] \} \sin \theta d\varphi d\theta \quad (2)$$

Освобождаясь от факторов, которые не участвуют в деформации пакета и подробно рассмотрены в [6,7], оставляем:

$$I_{\Theta\varphi+\text{def}} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} \exp \{ -2ik_e [\Delta r_{F1} \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_1) + \Delta r_{F2} [\sin \theta (1 + \Delta_2 \cos(\varphi - \varphi_2))]^2] \} \sin \theta d\varphi d\theta \quad (3)$$

Первое слагаемое определяет смещение пятна отраженного сигнала. В этом его воздействие совпадает с действием горизонтального ветра. Отличие состоит в том, что коэффициент Δr_{F1} определяет угол наклона отражающей полусферы (см. рис. 1) относительно своей верхней точки. Его можно получить, изменив в (3) пределы интегрирования или на более поздних этапах, после интегрирования по аперттурам антенн, которое подробно представлено в [7] и которое учитывает формирование ДН. Полученный результат соответствует простым геометрическим представлениям и не требует пояснений: при неоднородностях, размеры которых соизмеримы или превышают размеры зондирующего пакета, угол наклона отражающей поверхности будет равен:

$$\alpha_H \cong \Delta r_{F1} / r \quad (4)$$

Чтобы определить угол наклона эквифазных поверхностей отраженного ЭМП, достаточно изменить систему координат, наклонив ее, соответственно, на угол α_H . Тогда очевидно, что наклон эквифазных поверхностей будет равен $2\alpha_H$. Здесь нужно заметить, что наклон пакета может вызвать смещение пятна, которое существенно превосходит перенос из-за горизонтального ветра, а с учетом движения пакета появится бегущая волна вдоль горизонтальной плоскости [7]. На практике для определения наклона эквифазных поверхностей в системах РАЗ необходимо применять разнесенный прием.

Второе слагаемое в аргументе (3) можно представить как:

$$\arg_2 = 2ik_e \Delta r_{F2} \frac{1 - \cos(2\theta)}{2} (1 + \Delta_2 \cos(\varphi - \varphi_2))^2 \quad (5)$$

Это слагаемое определяет перенос фокуса по высоте. Но он не сопровождается доплеровским сдвигом, а проявляется только в изменении амплитуды, которое определяется коэффициентами Δr_{F2} и Δ_2 . Для случая $\Delta_2 = 0$ (сферически симметричная деформация) сдвиг фокуса по высоте составит:

$$\Delta z_{\text{def}} \cong 2\Delta\Gamma_{F2} \quad (6)$$

При $\Delta_2 \neq 0$ произойдет изменение размеров сфокусированного пятна отраженного сигнала в направлении, перпендикулярном к φ_2 . Слагаемые более высоких порядков в (1) должны учитываться в случае, если в потоке существует турбулентность меньшего масштаба. При этом дальнейшее уточнение влияния вихрей можно вести как аппроксимируя изменения степенными слагаемыми, так и разделяя пакет на малые участки, для которых достаточно приближения (1).

Выводы, сделанные выше, вполне очевидны и не требуют численных расчетов или графической интерпретации для пояснений, но они являются определяющими для анализа РАЗ в турбулентной атмосфере и практической разработки систем зондирования. Относительная простота вхождения этих параметров в выражения для определения выходных сигналов позволяет легко включить или просто перенести их в методики оценки сигналов при РАЗ неоднородной атмосферы. Пути создания антенного устройства, позволяющего осуществить сканирование поверхности акустического пакета, показаны в [6].

3. Особенности разработки методик зондирования

Разработка методик зондирования и обработки сигналов при сканирующем РАЗ представляет собой отдельную, весьма сложную и громоздкую задачу, связанную с оптимизацией электронной аппаратуры обработки. Кроме того, использование сканирующего РАЗ для оценки параметров атмосферной турбулентности должно основываться на некоторых априорно принятых теориях динамики атмосферы, в противном случае оно будет менее эффективным. Эта работа требует привлечения специалистов различных областей науки и данные вопросы целесообразно решать в контексте конкретных проектов. Поэтому здесь будут представлены только основные зависимости, которые характеризуют параметры сигналов и показывают возможности и перспективность практического применения сканирующего РАЗ.

Чтобы угловой размер радиолуча был меньше, чем угловой размер пучка акустических волн, необходимо изменять соотношение радиусов радиоантенн и АИ. Исходное соотношение 2:1, при котором угловые размеры ДН одинаковы, определяется требованием выполнения условия Брэгга [1].

Одна из причин изменения амплитуды принимаемого сигнала при РАЗ турбулентной атмосферы — фазовая, которая приводит к невыполнению условия Брэгга. Но существуют и другие причины [1, 7]. Для разных состояний атмосферы и разных частот зондирования вклад различных факторов может существенно отличаться. К основным из них можно отнести потери энергии акустических волн на диссипацию и рассеяние на неоднородностях. В некоторых случаях фазовые и амплитудные изменения будут связаны, и эта взаимосвязь также несет

информацию. Несет информацию и накопление деформаций в пакете, движущемся в неоднородной атмосфере. Но получать ее можно только путем прослеживания пакета на всем пути его движения, для чего потребуются существенное усложнение аппаратуры, теоретического описания и методик обработки. Поэтому данный вопрос здесь не рассматривается.

4. Результаты численного моделирования

Воспользуемся для численного интегрирования выражениями для принимаемого сигнала при РАЗ с помощью антенн конечных размеров, полученными в [5] и [6], и здесь представим лишь флуктуационные добавки, как в [6], которые появятся в турбулентной атмосфере.

Обозначим коэффициент отражения радиоволн по области, занятой пакетом, как $K_e(\theta, \varphi)$. Так же как и в случае для $\vec{r}_F(\vec{n})$, выразим $K_e(\theta, \varphi)$ в виде степенного ряда:

$$K_e(\theta, \varphi) = K_{e0} + \Delta K_{e1} \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_1) + \Delta K_{e2} [\sin \theta (1 + \Delta_2 \cos(\varphi - \varphi_2))]^2 + \dots \quad (7)$$

На рис.2 показана зависимость относительного вклада в принимаемый сигнал $U_{\text{пр}}(\theta_s)$ линейной составляющей $K_e(\theta, \varphi)$, которая представлена как $U_{\text{отн}} = [U_{\text{пр}}(\theta_s) - U_0(\theta_s)] / U_0(\theta_s)$, где $U_0(\theta_s)$ — зависимость принимаемого сигнала в однородной среде от угла наклона радиоантенн θ_s , при радиусе АИ $r_{a0} = 2\lambda_e$, где λ_e — длина электромагнитных волн, для различных радиусов передающей r_{e0} и приемной r_{n0} радиоантенн. Здесь и далее все размеры нормированы к λ_e . Для расчетов принято, что антенны обладают осевой симметрией и возбуждающее поле спадает к краям по квадратичному закону.

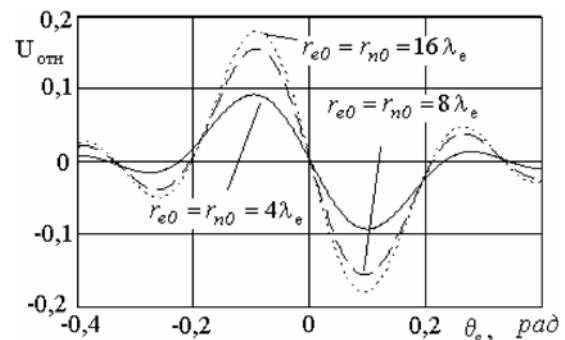


Рис. 2. Относительная добавка для $U_{\text{пр}}(\theta_s)$ при линейной зависимости $K_e(\theta, \varphi)$

Направление сканирования по азимуту должно совпадать с направлением градиента свойств среды. В перпендикулярном направлении эти зависимости отсутствуют. Мнимая часть $U_{\text{отн}}(\theta_s)$ равна нулю, потому что приемная антенна расположена в центре пятна, освещенного отраженным ЭМП,

сфокусированным сферической поверхностью акустического пакета. Действительная часть в пределах главного лепестка ДН АИ обладает почти линейной зависимостью, линейность и наклон увеличиваются при уменьшении ширины ДН радиоантенн. Такое поведение соответствует физическим представлениям, и этот участок представляет наибольший интерес при решении обратных задач и разработке методик метеоизмерений, поскольку за пределами ДН уровень принимаемого сигнала резко уменьшается.

Небольшое отличие значений производной в нуле на графиках является следствием нормировки. При расчетах уровни сигналов нормировались к радиусу антенн. Это показывает, что чувствительность определения линейного изменения параметров среды увеличивается с уменьшением ширины главного лепестка ДН радиоантенн, но это увеличение носит асимптотический характер и применение радиоантенн с $r_{e0} = r_{n0} > 4r_{n0}$ не приведет к пропорциональному ее увеличению.

Масштаб графиков по θ_s изменяется при изменении ДН АИ. На рис. 3 показаны отклики принятого сигнала на линейную составляющую для двух пар r_{a0} и r_{e0} .

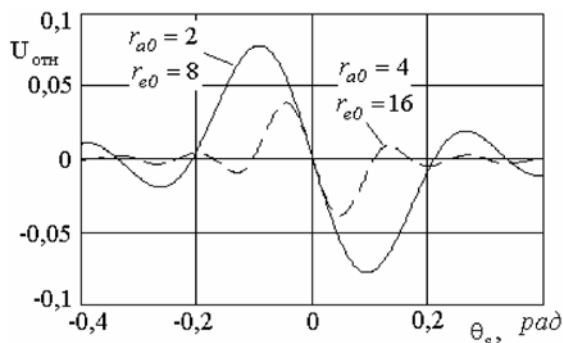


Рис. 3. Зависимость амплитуды принятого сигнала при РАЗ линейно-неоднородной среды

На этих графиках величина производной в нуле, которая в данном случае является коэффициентом преобразования, и уровни сигналов также определяются нормировкой. Дальнейшие расчеты показывают, что коэффициент преобразования зависит от функций распределения возбуждающих полей всех антенн. Равномерное распределение приводит к небольшому его увеличению, примерно на 20%.

При сдвиге приемной антенны или при использовании двух и более антенн появляется возможность получения информации на основании сравнения фазы принятых сигналов. Линейное слагаемое в (7) приводит к явлениям, аналогичным повороту всего пакета, т.е. к изменению формы и направления движения фазовых фронтов поля отраженных волн.

Разность фаз принятых сигналов определяется углом наклона приходящих волн и расстоянием между приемными антеннами. Изменения отраженного поля при общем наклоне пакета представлены в (4) и (5). Поэтому здесь представим только

влияние линейного слагаемого в $K_e(\theta, \varphi)$ (рис. 4). Чтобы получить относительное значение фазовой добавки, надо задать отношение $k_1 = \Delta K_{e1}/K_{e0}$ и далее полученное значение фазы нормировать к величине k_1 . Расчет проведен для $r_{a0} = 2$ и трех значений радиусов радиоантенн. Чтобы сравнить формы пространственных зависимостей, для смещения по оси X отложено три шкалы: нижняя шкала для $r_{e0} = 4$, средняя для $r_{e0} = 8$, верхняя для $r_{e0} = 16$.

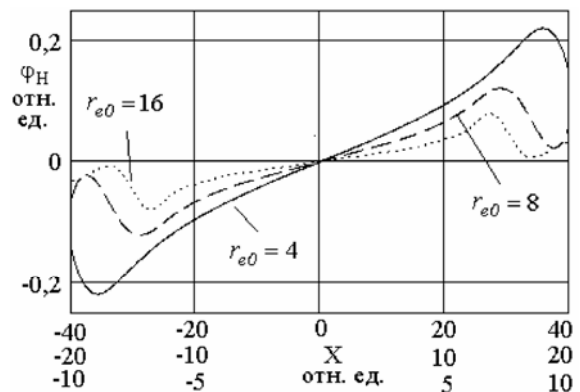


Рис. 4. Обобщенная зависимость фазы принятого сигнала при РАЗ линейно-неоднородной среды

Уменьшение наклона кривых с ростом r_{e0} можно объяснить интегрированием сигнала с большей поверхности, а расширение линейного участка нормированных по величине смещения кривых — тем, что определяющим фактором здесь является не сам раскрыт антенн, а отношение размера сфокусированного пятна к размеру антенны. Форма кривых отличается от линейной только на краях, где уровень мал, поэтому на практике сложно будет различить, какой именно из факторов (наклон всего пакета или изменение $K_e(\theta, \varphi)$) приводит к наклону эквифазных поверхностей отраженного поля. Чтобы различить, какой из факторов вызвал изменение направления распространения отраженных волн, необходимо иметь аппаратуру, позволяющую проследить весь путь движения пакета по трассе с одновременным анализом максимального количества его составляющих.

В общем, можно отметить, что величина разности фаз, вызванная изменением отражательной способности зондирующего пакета, невелика, но в совокупность данных она вносит независимые сведения об изменении отражательной способности зондирующего пакета.

Влияние квадратичного слагаемого в (7) при $r_{a0} = 2$ для трех радиусов радиоантенн показано на рис. 5.

Здесь также мнимая часть равна нулю, и разработку методик метеоизмерений и аппаратуры необходимо проводить, основываясь на зависимости этой функции в центральной части. Можно заметить, что

для определения квадратичной составляющей требуются более острые ДН радиоантенн.

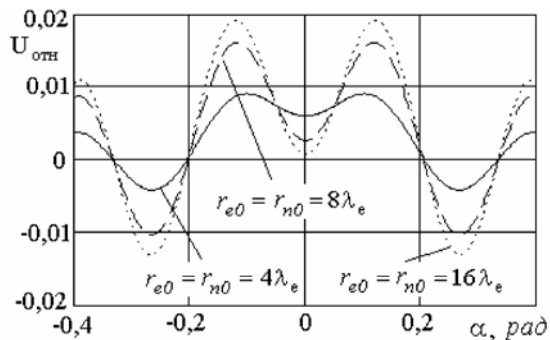


Рис. 5. Относительная добавка $U_{\text{отн}}(\theta_s)$ при квадратичной зависимости $K_e(\theta)$

На этом графике, так же как и для линейной составляющей $K_e(\theta, \varphi)$, масштаб по θ_s изменяется при изменении ДН АИ. Для иллюстрации можно представить отклики принятого сигнала для нескольких апертур АИ и радиоантенн. Для значений $r_{a0} = 2$ и $r_{e0} = 8$ и для $r_{a0} = 4$ и $r_{e0} = 16$ зависимости показаны на рис. 6.

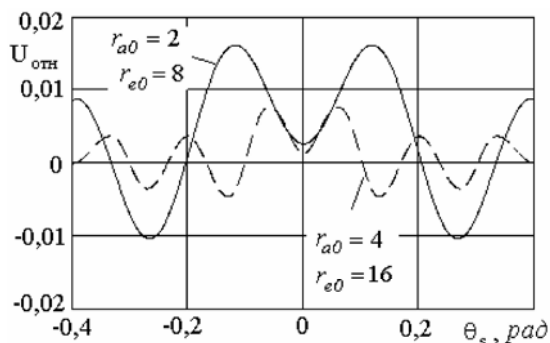


Рис. 6. Зависимость амплитуды принимаемого сигнала при РАЗ среды с квадратичным изменением параметров

Величина производной в нуле и уровень сигналов для квадратичной составляющей так же определяются нормировкой и способом задания мощности излучаемых волн. Коэффициент преобразования здесь тоже зависит от функций распределения возбуждающих полей всех антенн, при равномерном распределении он несколько больше.

Относительный уровень вклада квадратичной составляющей меньше, чем у линейной. Предварительная оценка энергетических характеристик показывает, что для ее выделения потребуется повышать мощность электромагнитного излучения и использовать высокочувствительную приемную аппаратуру. Поэтому составляющие $K_e(\theta, \varphi)$ более высоких порядков рассматривать не будем.

Зависимость фазы принятого сигнала от сдвига приемной антенны при квадратичной зависимости коэффициента отражения проявляется значительно слабее, чем при линейной. Слабая чувствительность объясняется тем, что квадратичное слагаемое

изменяет площадь эффективно отражающего участка, и это в большей степени приводит к изменению размеров пятна и не изменяет фазового распределения отраженного поля. Учитывая, что величина самого K_{e2} в (7) не больше единицы, трудно рассчитывать на создание эффективной методики измерений на основе этого параметра. Возможно, его удастся выделить, используя амплитудные измерения и определяя размеры отраженного пятна.

Линейное и квадратичное изменение вертикальной скорости движения акустических волн по углу θ приведет к разнице доплеровского сдвига, которое также может быть определено при сканировании зондирующего пакета. Скорость движения акустических волн представим в виде степенного ряда:

$$c_a(\theta, \varphi) = c_{a0} + \Delta c_{a1} \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_1) + \Delta c_{a2} [\sin \theta (1 + \Delta c_2 \cos(\varphi - \varphi_2))]^2 + \dots \quad (8)$$

Чтобы оценить влияние антенной системы, представим зависимости доплеровского сдвига частоты принятого сигнала $\omega_{\text{Дпр}}(\theta_s)$ в виде функции, которая равна его приращению относительного вклада в принимаемый сигнал линейной составляющей $c_a(\theta, \varphi)$. $\Delta \omega_{\text{Д}}(\theta_s) = [\omega_{\text{Дпр}}(\theta_s) - \omega_{\text{Д0}}] / \omega_{\text{Д0}}$, где $\omega_{\text{Д0}}$ — доплеровский сдвиг в однородной атмосфере.

При линейной зависимости $c_a(\theta)$ функция относительного изменения $\Delta \omega_{\text{Д}}(\theta_s)$ от θ_s показана на рис. 7. Расчет проведен для $r_{a0} = 2$ и трех значений радиусов радиоантенн. Можно заметить, что здесь линейные участки зависимостей также ограничиваются главным лепестком ДН АИ. При этом линейность возрастает при уменьшении главных лепестков ДН радиоантенн.

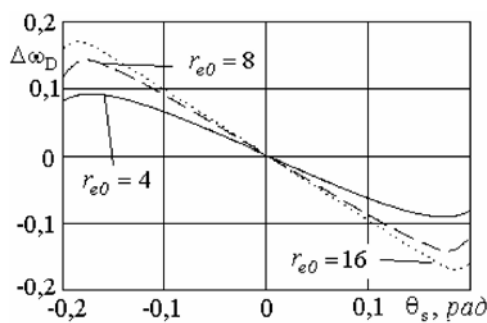


Рис. 7. Относительное приращение доплеровского сдвига частоты принимаемого сигнала при линейной зависимости $c_a(\theta)$

При квадратичной зависимости $c_a(\theta)$ функция изменения $\Delta \omega_{\text{Д}}(\theta_s)$ показана на рис. 8.

В основном, частотные характеристики сохраняют те же закономерности, что и амплитудные. Рабочие участки лежат в пределах ДН АИ, для выделения квадратичных составляющих требуется более острые ДН радиоантенн, чувствительность к квадратичным составляющим ниже, чем к линейным. Но

поскольку разрешающая способность регистрирующей аппаратуры к частотным характеристикам выше, чем к амплитудным, можно рассчитывать на создание практически ценных методов измерений на основании квадратичной составляющей $\omega_{Dnp}(\theta_s)$. Так же как и для амплитудных характеристик, воздействие слагаемых более высоких порядков в (8) рассматривать не будем.

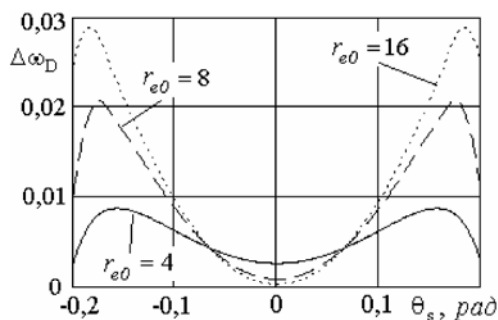


Рис. 8. Относительная добавка к $\omega_{Dnp}(\theta_s)$ при квадратичной зависимости $c_a(\theta)$

Учитывая разнообразие исходных параметров и их взаимосвязей, можно рассматривать и другие зависимости, но показанных характеристик достаточно для того, чтобы выяснить основные возможности сканирования при РАЗ.

Обратную задачу восстановления пространственного распределения параметров, характеризующих зондирующий пакет, как отражатель электромагнитных волн можно трактовать как задачу определения зависимостей, которые были бы получены при бесконечно узких ДН радиоантенн. Но практика не позволяет реализовать такое решение и требует компромисса.

Выводы

Данное исследование является одним из первых в серии работ, посвященных методу РАЗ, где рассматриваются результаты решения дифракционной задачи с учетом неоднородностей зондирующего пакета.

Практическая значимость учета неоднородностей заключается в том, что с их помощью можно оценить величины, необходимые для решения об-

ратной задачи определения флуктуаций параметров зондирующего пакета, являющейся, в свою очередь, первым этапом на пути определения параметров турбулентности в АПС с помощью РАЗ.

Традиционные контактные метеодатчики дают сравнительно небольшой объем информации и требуют привлечения прогностических методов расчета. Информационные возможности метода РАЗ существенно больше, но для работы в турбулентной атмосфере требуется дальнейшее совершенствование теории и аппаратуры.

Необходимые рекомендации по модернизации систем РАЗ сделаны по ходу изложения. Современные достижения электронной техники и компьютерных технологий полностью обеспечивают их реализацию.

Литература: 1. *Каллистратова М.А., Кон А.И.* Радиоакустическое зондирование атмосферы. М.: Наука, 1985. 198 с. 2. А.С. 1545781 (СССР). Радиоакустический способ определения модуля скорости ветра / Панченко А.Ю. Зарегистрировано 22.10.89. 3. *Бызова Н.Л., Иванов В.Н., Гаргер Е.К.* Турбулентность в пограничном слое атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 262 с. 4. *Андреанов В.А., Панченко А.Ю.* Восстановление высотных профилей коэффициента преломления вблизи границы суша-море по акустическим и радиоакустическим дистанционным измерениям / Радиотехника и электроника. 1990. Т.35, №12. С.2518-2526. 5. *Панченко А.Ю.* Дифракция электромагнитных волн на акустических при радиоакустическом зондировании атмосферы // Электромагнитные волны. 1997. Т.2, №5. С.37-42. 6. *Панченко А.Ю.* Развитие теоретических основ радиоакустического зондирования температурнонеоднородной турбулентной атмосферы / ХНУРЭ. Деп в ГНТБ Украины 26.07.04, №34-Ук2004. 92 с. 7. *Лайхтман Д.Л.* Физика пограничного слоя атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1970. 342 с. 8. *Андреанов В.А., Ракитин В.В.* Восстановление высотных профилей показателя преломления радиоволн в пограничном слое атмосферы / Радиотехника и электроника. 1978. Т.23, №10. С.2031-2038.

Поступила в редколлегию 11.11.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Прошкин Е.Г.

Панченко Александр Юрьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры микроэлектроники, электронных приборов и устройств ХНУРЭ. Научные интересы: радиофизика, микроэлектроника, неразрушающий контроль сред, материалов и изделий. Адрес: Украина, 61736, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 7021-362.