

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

Горьковский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский радиопизический институт (НИРФИ)

П р е п р и н т № 222

МНОГОЧАСТОТНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ
В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ АНТЕННЫ

А.В. Калинин

Г о р ь к и й 1 9 8 6

К а л и н и н А. В.

МНОГОЧАСТОТНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ АНТЕННЫ.
Горький, Препринт № 222 / Н И Р Ф И , 1986. - 35 с.

УДК 621.396.67

Предложен способ определения поля в ближней зоне антенны с помощью измерений в диапазоне частот и последующего перехода во временную область. Способ может быть использован для определения характеристик антенн радиолокационным методом с повышенной точностью, а также для экспериментального определения поля, рассеянного в измерительной установке. Способ реализуется без привлечения специального оборудования на установке, содержащей стандартные приборы (генератор , амплифазометр), работающие в диапазоне частот. Приводятся результаты эксперимента, подтверждающие эффективность способа.

Проблема повышения точности антенных измерений при наличии рассеяния поля в установке и на окружающих предметах является довольно сложной и актуальной /1,2/. Существующие способы уменьшения влияния рассеяния предусматривают либо пространственную, либо временную селекцию составляющих измеряемого сигнала. Способы пространственной селекции /3-5/ имеют ограниченную область применения и недостаточную эффективность. Среди способов временной селекции наиболее эффективным является импульсный /8,9/, однако он предусматривает использование нетрадиционной для антенных измерений аппаратуры и поэтому пока не находит широкого применения. Вместе с тем известны методы ослабления влияния рассеяния, в которых временная селекция составляющих сигнала осуществляется за счет измерений в диапазоне частот. В работах /6,7/ приводились результаты определения диаграммы направленности рупорных антенн в дальней зоне, подтверждающие эффективность измерений в диапазоне частот. Однако при этом возможности метода использовались далеко не полностью. В частности, практически не использовалась зависимость фазы измеряемого сигнала от частоты, а также данные о геометрии установки.

Особую актуальность способы уменьшения влияния рассеяния приобретают при измерении характеристик остронаправленных антенн в ближней зоне радиолокационным методом /1/. Это связано с возможностью значительного искажения поля антенны при расположении сканирующего устройства в "прожекторном луче" вблизи раскрыва. В данной работе для повышения точности измерений характеристик антенн радиолокационным методом, а также для экспериментального определения источников и уровней рассеянного сигнала, предлагается способ измерения пространственной зависимости поля в ближней зоне в диапазоне частот с последующим

переходом во временную область. Способ может быть реализован без привлечения дополнительного оборудования на установке, содержащей стандартные приборы (генератор, амплифазометр), работающие в диапазоне частот. Возможности предлагаемого способа рассматриваются на примере установки для планарного сканирования поля в ближней зоне зеркальной параболической антенны, на которой проводилась экспериментальная апробация.

I. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРЕДЛАГАЕМОГО СПОСОБА

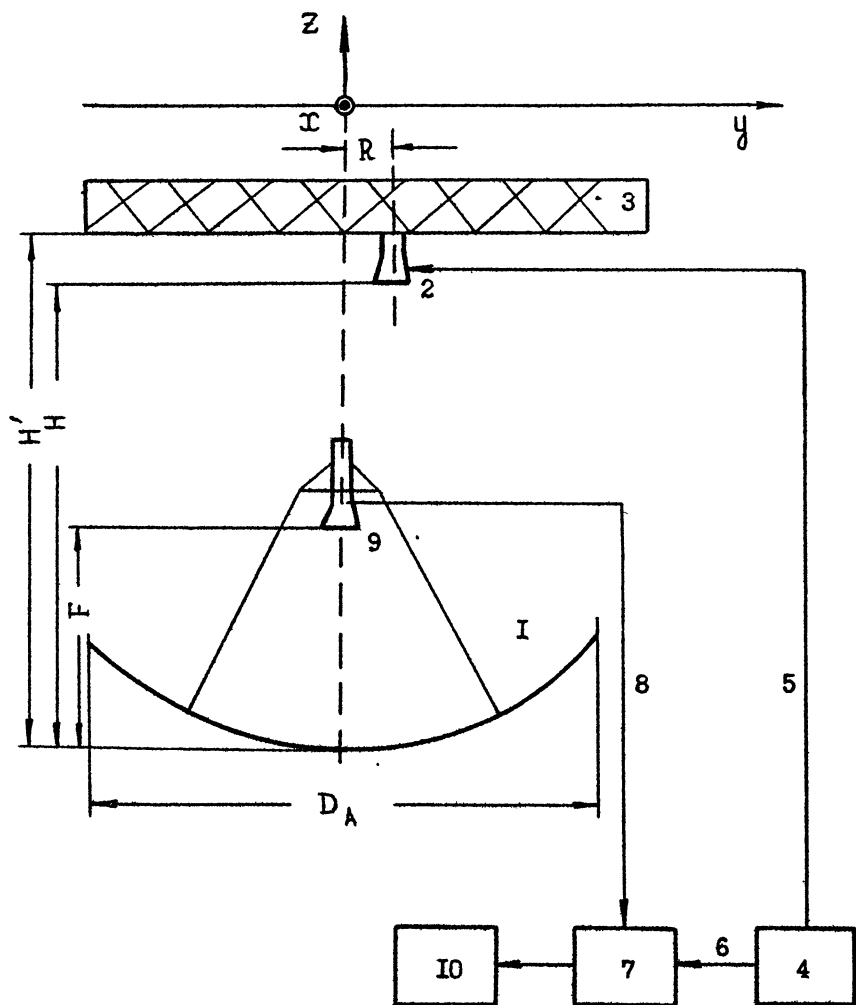
На рис. I показана блок-схема установки для определения характеристик антенн радиолокационным методом при планарном сканировании поля в ближней зоне /1/. Измерение поля антенны I с облучателем 9 производится с помощью зонда 2, перемещаемого сканирующим устройством 3. На схеме показаны приборы (амплифазометр 7, генератор 4, ЭВМ 10), СВЧ линии передачи измерительного 5 и 8 и опорного 6 трактов, а также обозначены геометрические размеры, существенные для анализа возможностей многочастотного способа.

При излучении сигнала зондом на выходе СВЧ тракта исследуемой антенны (ИА) измеряется сумма составляющих сигнала, распространяющихся различными путями от зонда к облучателю. Сигнал на частоте ω может быть соответственно представлен в виде

$$E_{\text{изм}}(\omega) = A(\omega) e^{i\varphi(\omega)} \sum_k a_k(\omega) e^{-i \frac{\omega}{c} r_k}, \quad (I)$$

где $A(\omega)$, $\varphi(\omega)$ - амплитуда и фаза сигнала на частоте ω , $a_k(\omega)$ - коэффициент передачи k -й составляющей, r_k - разность длин путей распространения k -й составляющей в измерительном и опорном трактах, включая линии передачи и пути распространения в свободном пространстве.

При этом составляющие сигнала, соответствующие полю ИА, распространяющиеся по пути "зонд - зеркало ИА - облучатель" и по пути "зонд - облучатель" представляют собственно полезный сигнал, а составляющие, появляющиеся за счет рассеяния на элементах установки и окружающих предметах, например распространяющиеся по пути "зонд - зеркало - сканер - зеркало - облучатель", являются по-



Р и с. I

мехами. В предлагаемом способе выполняется измерение сигнала на выходе антенно-фидерного тракта ИА в диапазоне частот и преобразование Фурье полученных данных (переход во временную область):

$$S(t) = \int E_{\text{изм}}(\omega) e^{i\omega t} d\omega. \quad (2)$$

При этом во временной области происходит разделение составляющих:

$$S(t) = \sum_k S_k\left(t - \frac{r_k}{c}\right) = \sum_k \int A(\omega) a_k(\omega) e^{i(\varphi(\omega) + \omega(t - \frac{r_k}{c}))} d\omega. \quad (3)$$

Составляющие $S_k(t)$ отличны от нуля лишь в некоторых интервалах времен Δt_k . Например "длительность" полезного сигнала определяется разностью максимального и минимального времени распространения сигнала от зонда к различным участкам раскрыва ИА. Поэтому, если "длительность" сигнала ИА $\Delta t_{\text{ИА}}$ меньше возможных времен запаздывания помех, происходит разделение полезных составляющих от помеховых. В полученной зависимости $S(t)$ распознавание составляющих, соответствующих полю ИА, производится с учетом известной геометрии установки. По задержке помеховых составляющих возможна идентификация источников рассеяния.

Определение "истинного" значения поля ИА на частоте ω производится путем зануления составляющих $S_k(t)$, соответствующих помехам и выполнения обратного преобразования Фурье. Подобным же образом (при занулении компонент, соответствующих полю ИА) может быть получено значение рассеянного сигнала на данной частоте. Проведение указанной процедуры измерения и обработки во всех заданных точках поверхности сканирования позволяет получить истинную пространственную зависимость поля ИА и рассеянного поля на данной частоте. С помощью соответствующей обработки (преобразования Фурье для плоской поверхности сканирования) определяется диаграмма направленности (ДН) ИА с повышенной точностью, либо погрешность, вносимая рассеянием в определение ДН на данной установке традиционным способом.

2. ПОЛЕ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ЗЕРКАЛЬНОЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ, СИНТЕЗИРУЕМОЕ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Измерение поля исследуемой антенны в диапазоне частот и выполнение преобразования Фурье полученных данных представляет собой синтез во временной области отклика этой антенны на широкополосный сигнал. Синтезируемый сигнал в ближней зоне зеркальной параболической антенны (см. рис. I) определяется в виде

$$S(t) = \int_{\omega_H}^{\omega_B} e^{i\omega t} \int_0^A \int_0^{2\pi} a(\omega, \rho) \frac{1}{r_1 r_2} e^{-i \frac{\omega}{c} (r_1 + r_2)} \sqrt{1 + \frac{\rho^2}{4F^2}} \rho d\rho d\varphi d\omega, \quad (4)$$

где $r_1 = F + \rho^2/4F$, $r_2 = (H - \rho^2/4F) + \rho^2 + R^2 - 2R\rho \cos(\Phi - \varphi)$, $\omega_H - \omega_B$ - полоса перестройки частоты, $a(\omega, \rho)$ - функция, описывающая АХЧ, ФХЧ и ДН облучателя, H - расстояние от вершины зеркала до плоскости сканирования, F - фокусное расстояние антенны, R, Φ - координаты зонда в плоскости сканирования, ρ, φ - координаты точки интегрирования на поверхности зеркала. Будем пренебрегать изменением направленности облучателя в рабочей полосе частот. Тогда соотношение /4/ можно записать следующим образом:

$$S(t) = \int_0^A \int_0^{2\pi} I\left(t - \frac{r_1 + r_2}{c}\right) \frac{1}{r_1 r_2} a_1(\rho) \sqrt{1 + \frac{\rho^2}{4F^2}} \rho d\rho d\varphi, \quad (5)$$

где $I(t) = \int_{\omega_H}^{\omega_B} a_2(\omega) e^{i\omega t} d\omega$ - синтезируемый при измерениях импульс, которым "возбуждается" ИА, $a_1(\rho)$ - характеристика направленности облучателя (предполагается осесимметричной), $a_2(\omega)$ - частотная характеристика антенно-фидерного тракта установки, в котором, как правило, наиболее узкую полосу имеет облучатель ИА. Поэтому в дальнейшем под $a_2(\omega)$ будем иметь ввиду ЧХ облучателя.

Введем импульсную переходную характеристику /МПХ/ исследуемой антенны в виде

$$h(t) = \int_0^A \int_0^{2\pi} \delta\left(t - \frac{r_1 + r_2}{c}\right) \frac{1}{r_1 r_2} a_1(\rho) \sqrt{1 + \frac{\rho^2}{4F^2}} \rho d\rho d\varphi. \quad (6)$$

Необходимо заметить, что, хотя приближение физической оптики, в

котором записано /4/, справедливо для $\lambda \ll A$, мы вводим формально ИПХ ИА в виде /6/, т.к. синтезируемый импульс $I(t)$ не содержит нулевых частот.

Сигнал в ближней зоне антенны $S(t)$ представляет собой свертку временной зависимости синтезированного импульса $I(t)$ с ИПХ антенны $h(t)$.

Анализ соотношения /6/ показывает, что область изменения переменной ct , в которой сигнал $h(t)$ отличен от нуля, определяется условиями

$$F+H < ct < F + \frac{A^2}{4F} + \sqrt{\left(H - \frac{A^2}{4F}\right)^2 + (A+R)^2}, \text{ при } R < A, \quad (7)$$

$$F + \frac{A^2}{4F} + \sqrt{\left(H - \frac{A^2}{4F}\right)^2 + (R-A)^2} < ct < F + \frac{A^2}{4F} + \sqrt{\left(H - \frac{A^2}{4F}\right)^2 + (R+A)^2} \text{ при } R > A.$$

Для точки наблюдения, смещенной от оси ($R \neq 0$), ИПХ $h(t)$ находится путем численного счета на ЭЕМ при заданной диаграмме облучения $a_1(\rho)$.

При $R = 0$ $h(t)$ может быть представлена в явном виде:

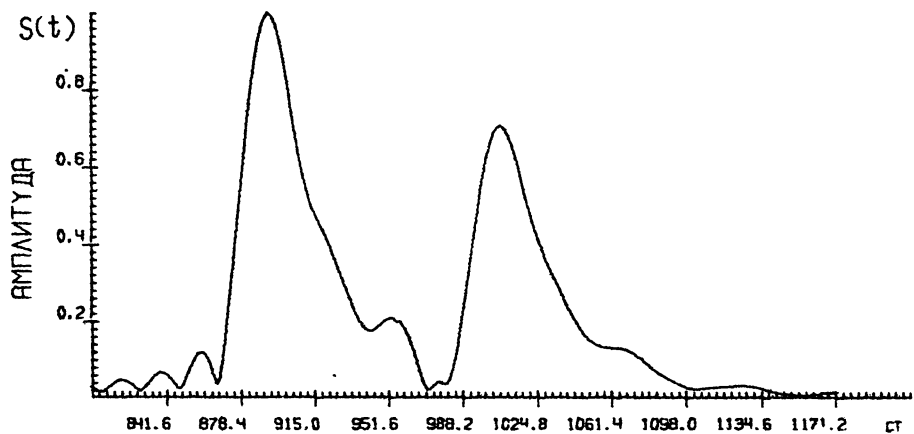
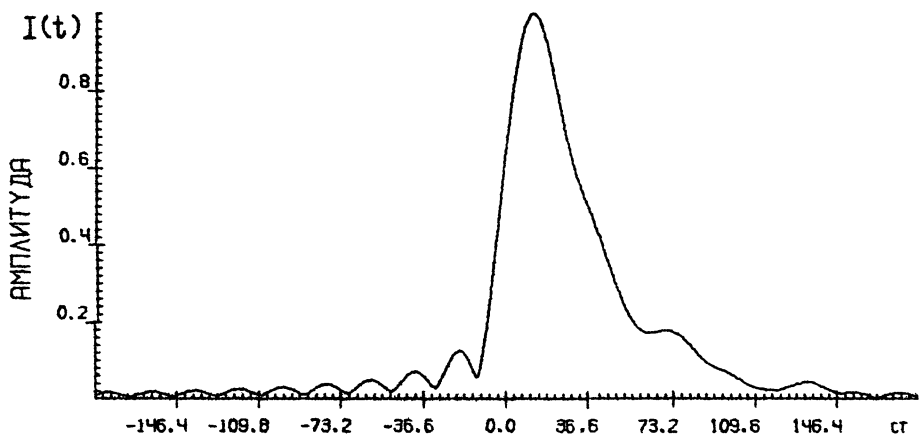
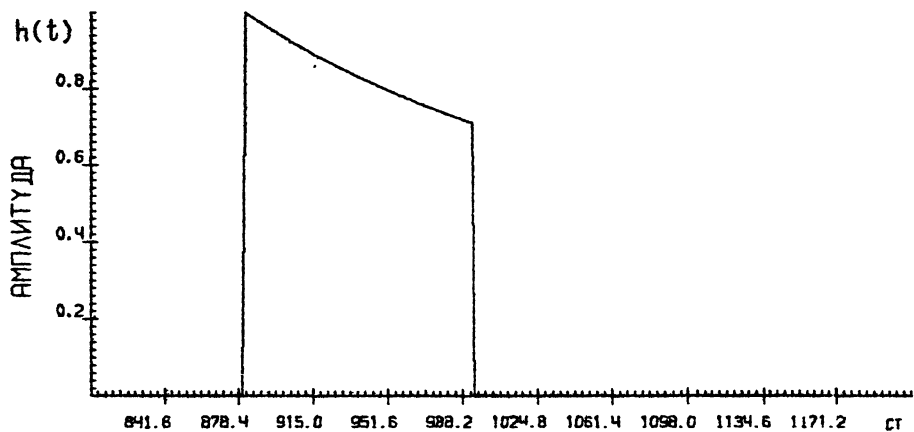
$$h(t)_{R=0} = 4\pi c \left[a_1(z_0) / \sqrt{1+z_0/F} \right] \left[1 / (2F+z_0-H + \sqrt{(H-z_0)^2 + 4z_0F}) \right], \quad (8)$$

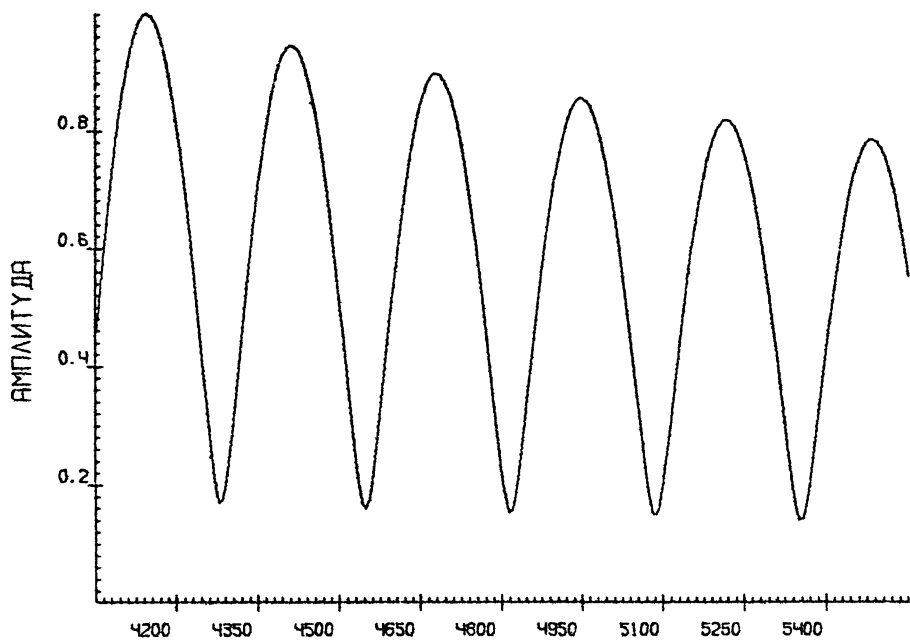
$$\text{где } z_0 = \frac{\rho_0^2}{4\pi} = \frac{(ct-H-F)(ct+H-F)}{2(ct-H+F)}.$$

Были рассчитаны временные зависимости ИПХ зеркальной параболической антенны $h(t)$, синтезируемого импульса $I(t)$ и поля антенны $S(t)$. При расчетах частотная характеристика облучателя задавалась в виде ЧХ эквивалентного RCL- контура:

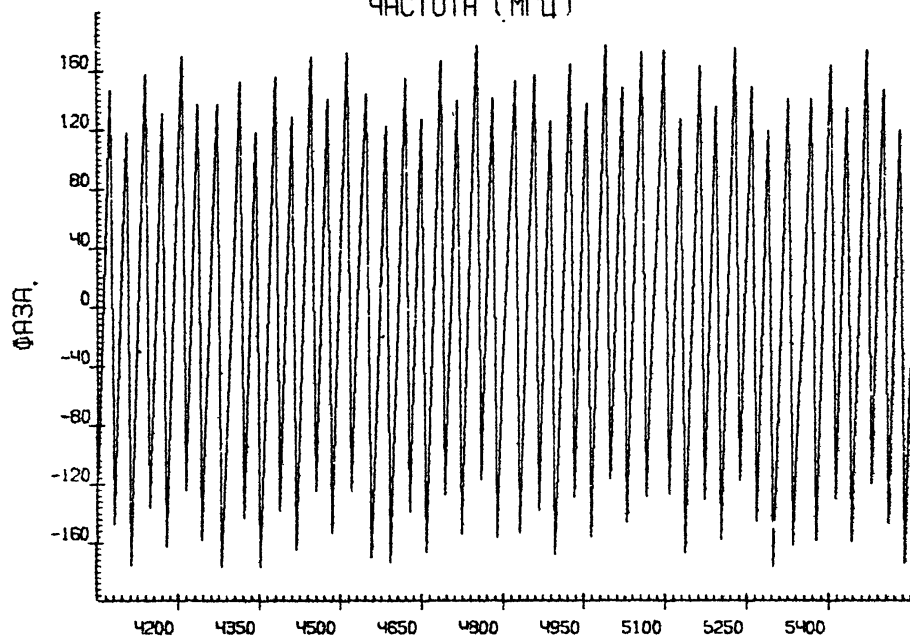
$$a_2(\omega) = \frac{-2i\omega\Omega}{\omega_0^2 - \omega^2 - 2i\omega\Omega},$$

где ω_0 - центральная частота настройки облучателя, Ω - ширина полосы частот облучателя по уровню половинной мощности.

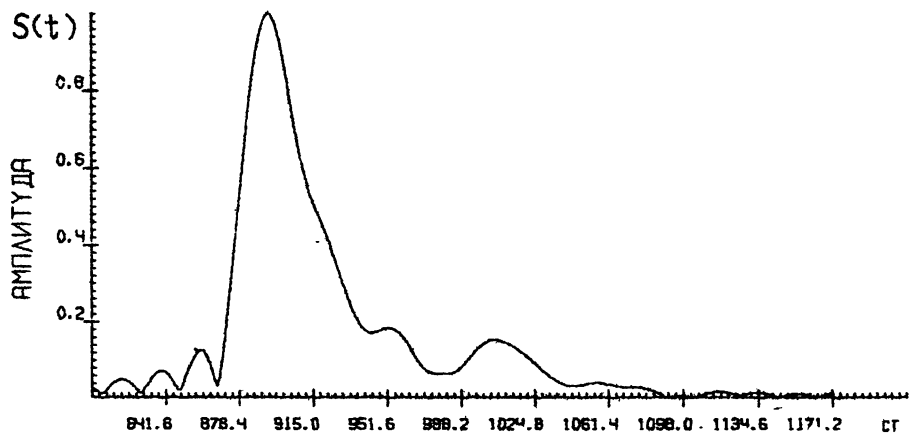
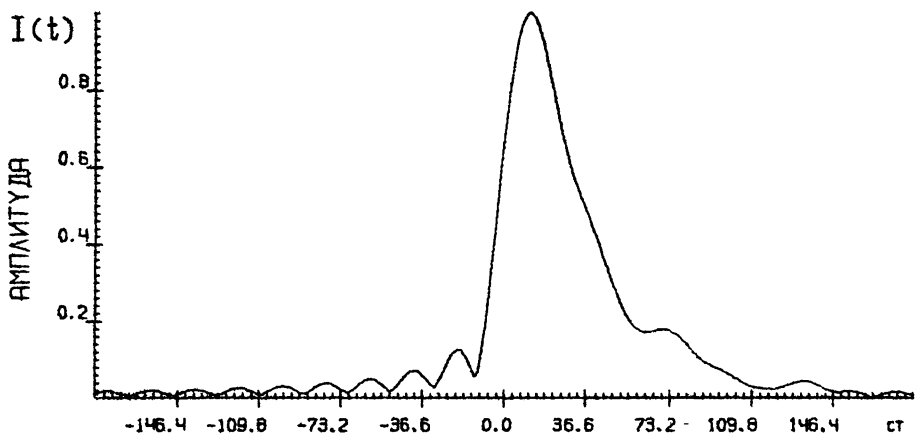
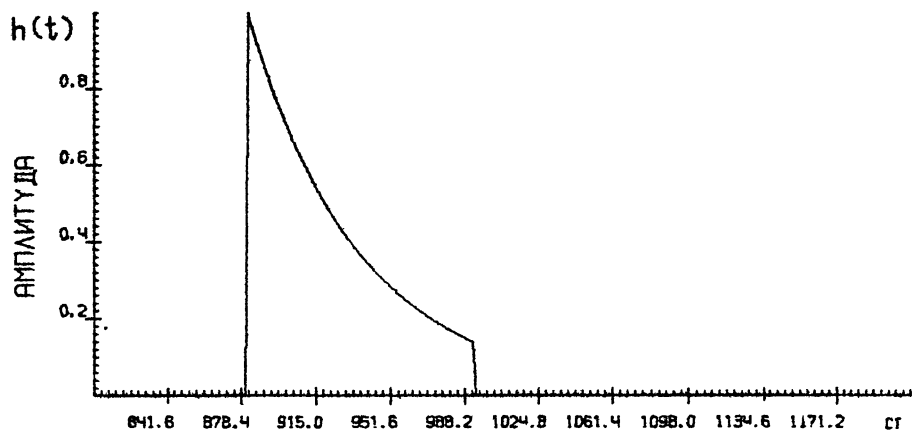


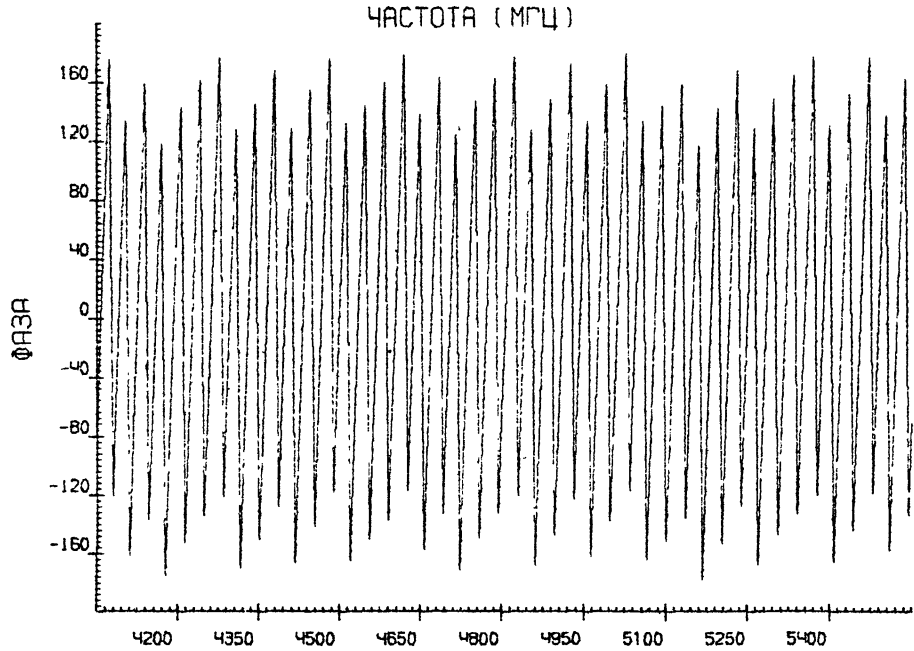
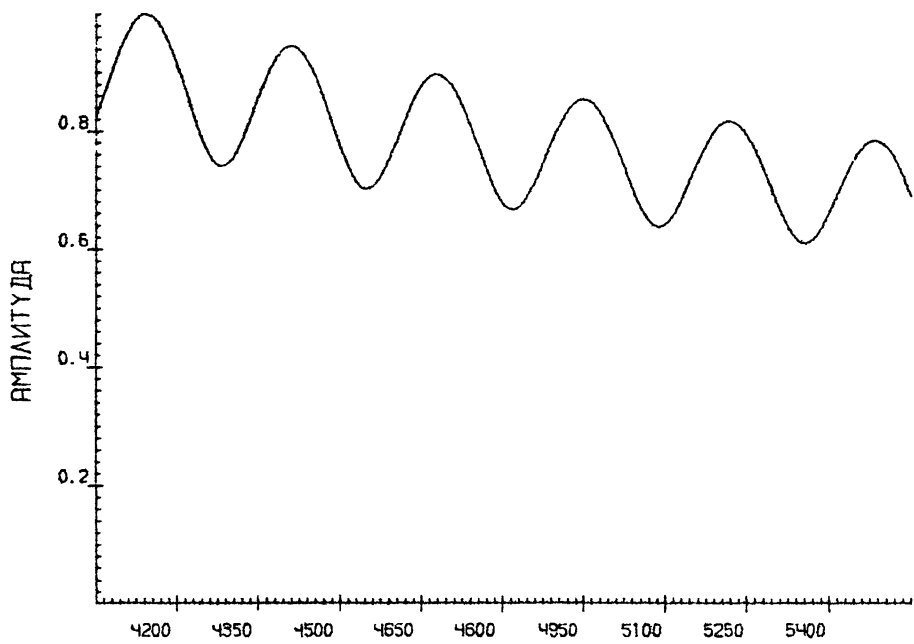


ЧАСТОТА (МГц)



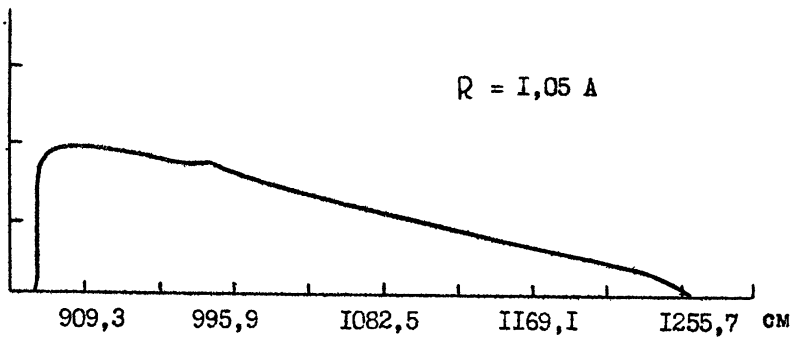
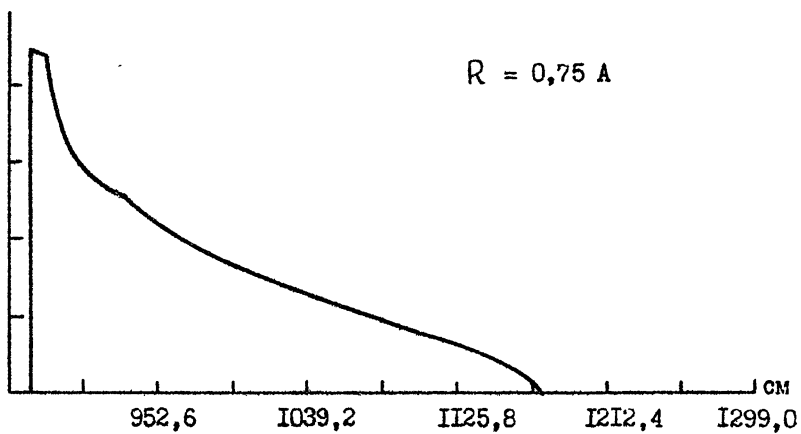
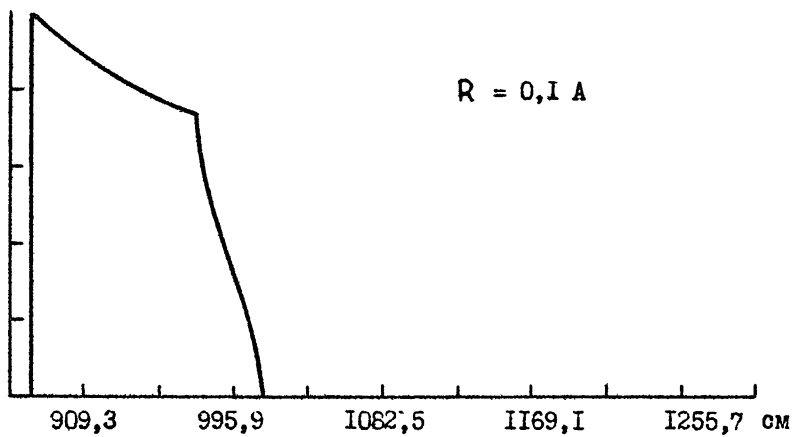
ЧАСТОТА (МГц)





Р и с. 5

ЧАСТОТА (МГц)



Р и с . 6

Для удобства сравнения результатов вычислений с экспериментальными данными параметры принимались равными

$$H = 5,9 \text{ м}, \quad F = 2,8 \text{ м}, \quad D = 2A = 7 \text{ м}, \quad \omega_0 = 2\pi \cdot 5 \cdot 10^9,$$

$$\Omega / \omega_0 = 0,03, \quad \omega_H = 2\pi \cdot 4,004 \cdot 10^9, \quad \omega_B = 2\pi \cdot 5,534 \cdot 10^9.$$

Результаты расчетов приведены на рис. 2-6. На рис. 2 показаны временные зависимости сигналов при $R = 0$ и равномерном облучении зеркала $q_1(\rho) = I$; на рис. 3 соответствующий спектр ИПХ. На рис. 4 и 5 представлены те же характеристики для облучения, спадающего пропорционально $\cos^2 \theta$ до уровня $\sim 0,2$ на край зеркала. На рис. 6 изображены ИПХ для координат точки наблюдения: $R = 0,1A$, $R = 0,75A$, $R = 1,05A$.

Приведенные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- сигнал в ближней зоне зеркальной параболической антенны, синтезируемый при многочастотных измерениях, сосредоточен, в основном, во временной области, границы которой определяются соотношением (7),

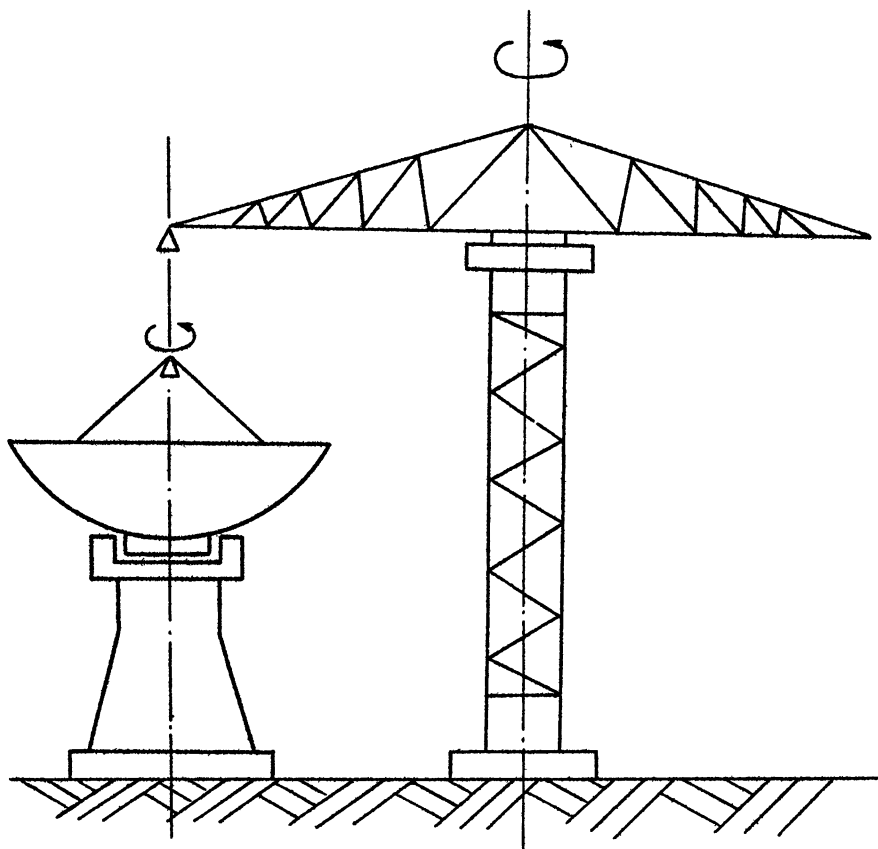
- временная зависимость сигнала антенны в ближней зоне имеет два максимума в случае синтеза достаточно короткого импульса (при широкой полосе перестройки частоты), причем амплитуда второго максимума зависит от уровня облучения края зеркала ИА,

- частотная зависимость сигнала в ближней зоне может существенно отличаться от ЧХ антенно-фидерного тракта установки, особенно при высоком уровне облучения края зеркала.

Кроме того можно отметить, что временной интервал, в котором сигнал антенны отличен от нуля, может быть смещен относительно области ненулевых значений ИПХ антенны в зависимости от характера ФЧ облучателя в рабочем диапазоне частот. Это обстоятельство необходимо учитывать при измерениях.

3. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОЧАСТОТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

На рис. 7 показан внешний вид стенда НИРФИ для измерения параметров антенн /I0/. Сканирование поля в ближней зоне зеркальной параболической антенны осуществляется с помощью устройства /II/, перемещающего зонд по линии, проходящей над центром апертуры. На



Р и с . 7

стенде используются генератор типа Г4-81 (работающий в режиме синхронизации частоты) и амплифазометр ФК 2-24, имеющие перекрывающийся диапазон рабочих частот 4,0+ 5,6 ГГц. Управление измерениями и обработку данных производит мини ЭВМ ТУ-901А. Геометрические размеры установки в обозначениях, показанных на рис. 1, составляют: $F = 2,8 \text{ м}$, $D = 7 \text{ м}$, $H' = 6,5 \text{ м}$, $H = 5,9 \text{ м}$.

На стенде НИРФИ проводилось определение многочастотным способом пространственной зависимости поля ИА и рассеянного поля. Учитывая осевую симметрию установки, измерялось распределение сигналов по координате R вдоль радиуса апертуры при фиксированном положении антенны. Измерения проводились как при укрытии части стрелы сканера вблизи зонда радиопоглощающим материалом (РПМ), так и при отсутствии РПМ на стреле.

Измерения проводились последовательно на ряде частот $f_n = f_0 + \Delta f n$, $n = 0, 1, \dots, N-1$, после чего с помощью дискретного преобразования Фурье вычислялся сигнал $S(t)$ в моменты времени $t = \Delta t m$, $m = 0, 1, \dots, N-1$. Число частот N и дискрет перестройки Δf выбирались, исходя из следующих соображений.

При неизменном значении коэффициента передачи СВЧ тракта установки в диапазоне перестройки частоты $f_N - f_B$ разрешающая способность по времени составляет $\Delta t_{\min} \sim (f_N - f_B)^{-1}$. При широкой полосе перестройки частоты реально достижимое разрешение ограничено, как правило, полосой пропускания тракта установки и облучателя ИА. Показанный на рис. 2 результат позволяет оценить достижимое разрешение по времени величиной $\Delta t_{\min} \sim 1,3 + 1,7 \text{ нс}$ для стенда НИРФИ, что соответствует расстоянию $\Delta ct \sim 40 + 50 \text{ см}$. Разность хода сигналов, обусловленных переотражением между ИА и сканирующим устройством, и полезного сигнала составляет на стенде не менее 7 м. Полезный же сигнал, принятый от различных участков раскрыва, сосредоточен во временном интервале, длительность которого определяется соотношением l/r и составляет от 3,3 до 10 нс (ct от 1 м до 3 м) для различных значений координат зонда R (при $R < A$). Следовательно, на данной установке возможно разделение полезных и помеховых составляющих измеряемого сигнала при перестройке частоты в полосе шириной $\sim 0,3 + 1,5 \text{ ГГц}$.

Дискретность перестройки частоты ограничивает длительность временного интервала, в котором восстанавливаются значения $S(t)$, величиной $t_{\text{max}} = 1/\Delta f$. При этом в силу свойства периодичности диск-

ретного преобразования Фурье возможен перенос составляющих сигнала с большими, чем t_{\max} , задержками в область нулевых задержек. Очевидно, что присутствие в измеряемом сигнале отличных от нуля составляющих с задержками, меньшими, чем разность электрических длин линий передач опорного и измерительного трактов ($\Delta r_{\lambda, n}$), может быть лишь следствием дефектов антенно-фидерного тракта (например, паразитного прохождения части мощности из опорного тракта в измерительный канал амплифазометра), которые, кстати, могут быть непосредственно обнаружены данным способом. В отсутствии подобных особенностей СВЧ тракта условие выбора дискрета перестройки частоты записывается в виде $\Delta \varphi < c/\Delta k$, где Δk - максимальная разность хода полезного и помехового сигналов. Для схемы планарных измерений, показанной на рис. 1, значение Δk определяется соотношением $\Delta k = 2l(N+F)$, где l - число учитываемых переотражений сигнала, и составляет на стенде НИРФИ около 18,5 м для сигнала, однократно переотраженного между зеркалом и стрелой сканера, или ~ 37 м для дважды переотраженного сигнала. Таким образом, на стенде возможно проведение измерений многочастотным способом с дискретом перестройки частоты порядка $\Delta \varphi \sim 6 \dots 12$ МГц. Соотношение, определяющее при заданных параметрах N и $\Delta \varphi$ интервал значений ct , в котором находятся составляющие сигнала, соответствующие полю антенны, имеет вид

$$ct_0 < ct < ct_0 + \Delta R, \quad (9)$$

где $ct_0 = \Delta r_{\min} - \frac{c}{\Delta \varphi} \text{entire} \left(\frac{\Delta r_{\min}}{c} \Delta \varphi \right)$, Δr_{\min} - минимальная разность хода сигнала в опорном и измерительном каналах установки, ΔR - максимальная разность хода сигналов, соответствующих полю антенны. Для геометрии измерительной схемы, показанной на рис. 1, параметры Δr_{\min} и ΔR находятся следующим образом:

$$\Delta r_{\min} = \Delta r_{\lambda, n} + \sqrt{(H-F)^2 + R^2},$$

$$\Delta R = \sqrt{(H-A^2/4F)^2 + (R+A)^2} + F + A^2/4F - \sqrt{(H-F)^2 + R^2} \quad (10)$$

Соотношения /9/ и /10/ получены аналогично /7/ с учетом возможное

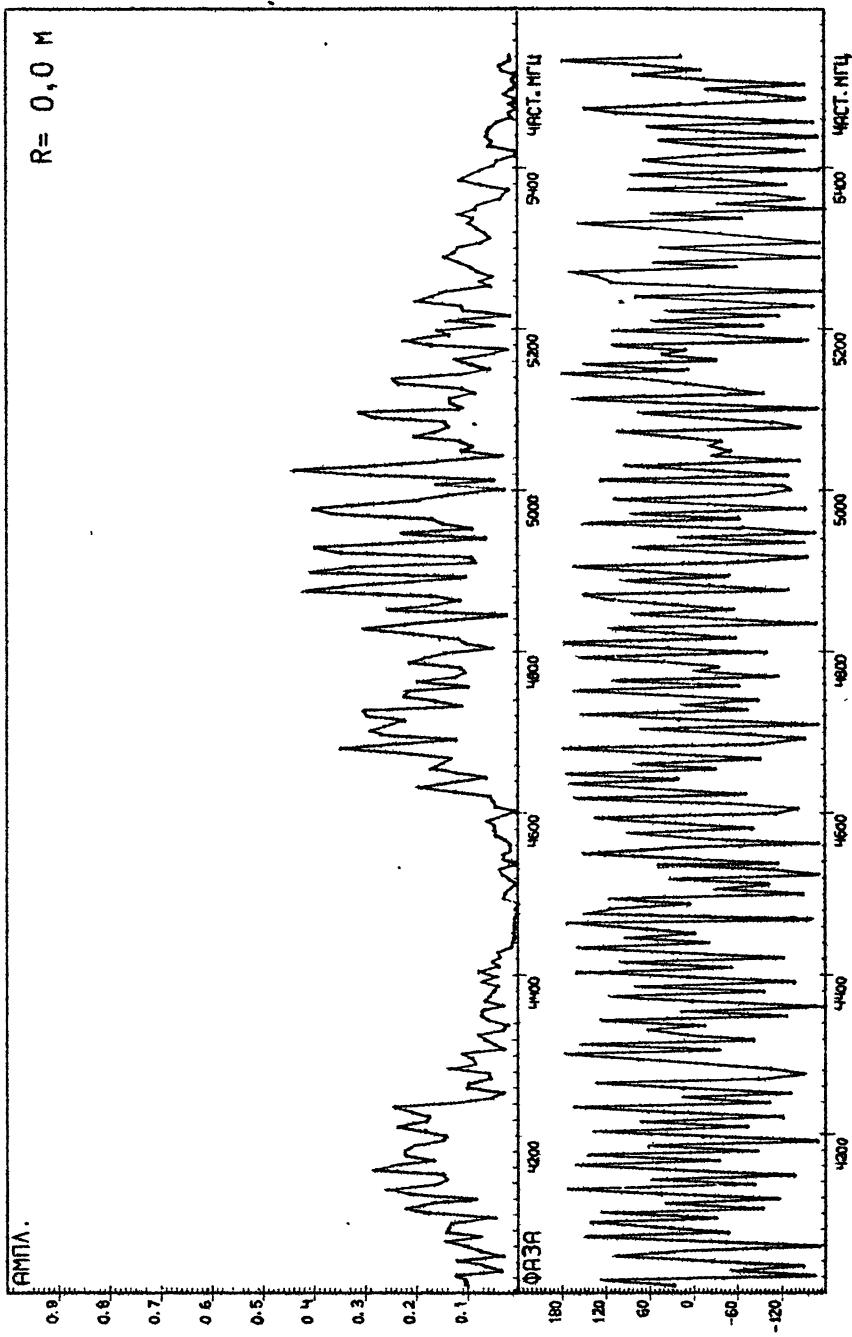
ти приема сигнала, излученного зондом, непосредственно через задние лепестки ДН облучателя.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

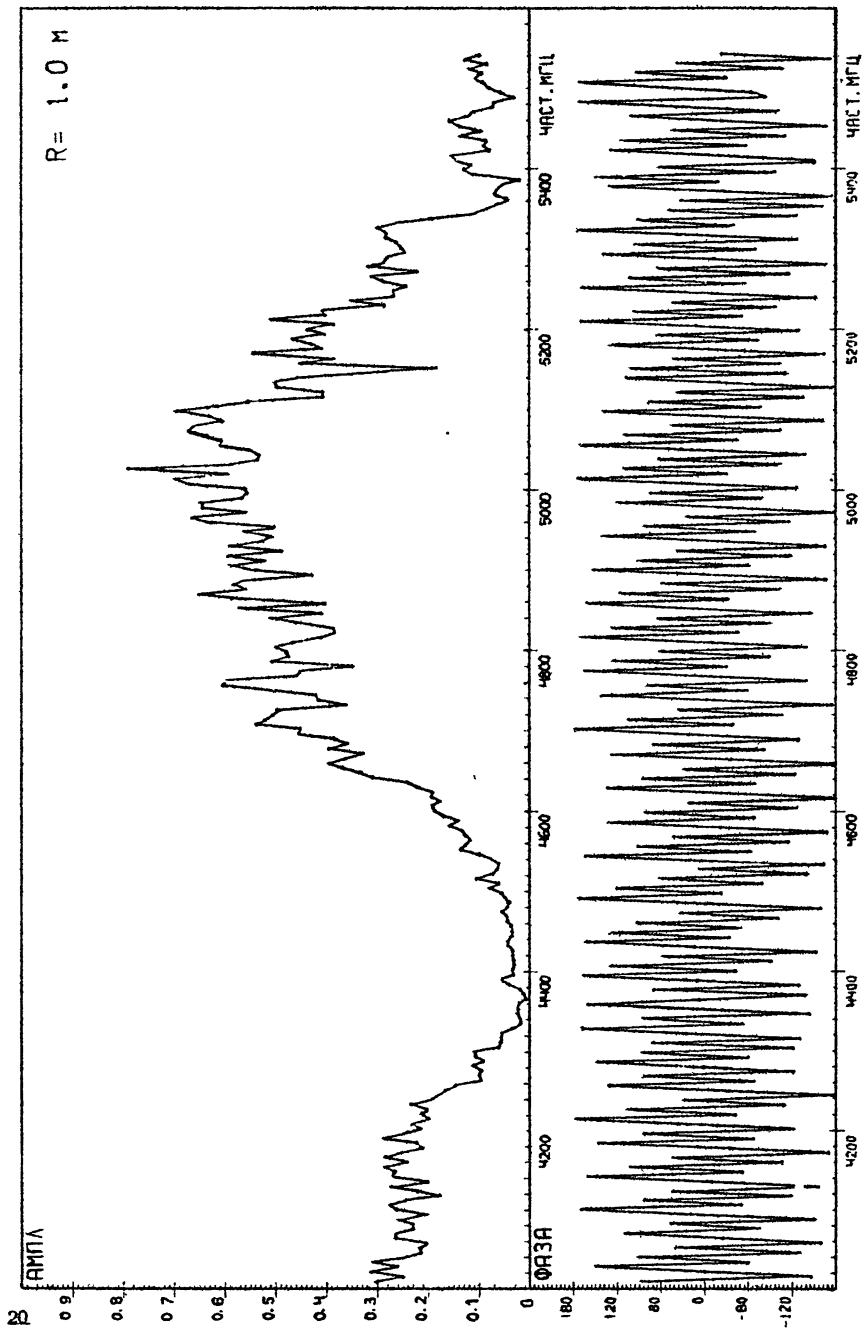
На рис. 8 и 9 в виде зависимостей амплитуды и фазы от частоты показаны результаты измерения сигнала в ближней зоне ИА в диапазоне частот 4004-5634 МГц при расположении зонда в точках плоскости сканирования с координатами $R = 0$ и $R \approx 1$ метр. Плавное уменьшение амплитуды сигнала на частотах с индексами $n \sim 60$ обусловлено, по-видимому, провалом в АЧХ тракта стенда. Осцилляции амплитудной зависимости, особенно заметные на рис. 8, объясняются наличием в измеряемом сигнале нескольких составляющих с различными временами распространения. Приведенная частотная зависимость позволяет разумно выбрать значение полосы перестройки частоты при измерениях. В частности, очевидно, что полоса может быть значительно уменьшена (примерно вдвое) без существенного ухудшения разрешающей способности метода во временной области.

На рис. 10-14 показаны результаты синтезирования сигнала ИА во временной области, полученные при различных значениях полосы и дискрета перестройки частоты. На рис. 10 представлена амплитуда дискретного преобразования Фурье данных, измеренных в полосе частот 254 МГц с дискретом $\Delta f = 2$ МГц. Полученное "абсолютное" представление составляющих сигнала в интервале задержек $0 + 500$ нс наглядно демонстрирует сосредоточение всех составляющих в области, длительностью не более 100 нс, что соответствует разности хода 30 метров. Это подтверждает возможность переноса исследуемых составляющих в области малых задержек путем увеличения дискрета перестройки частоты для обеспечения лучшего разрешения по времени.

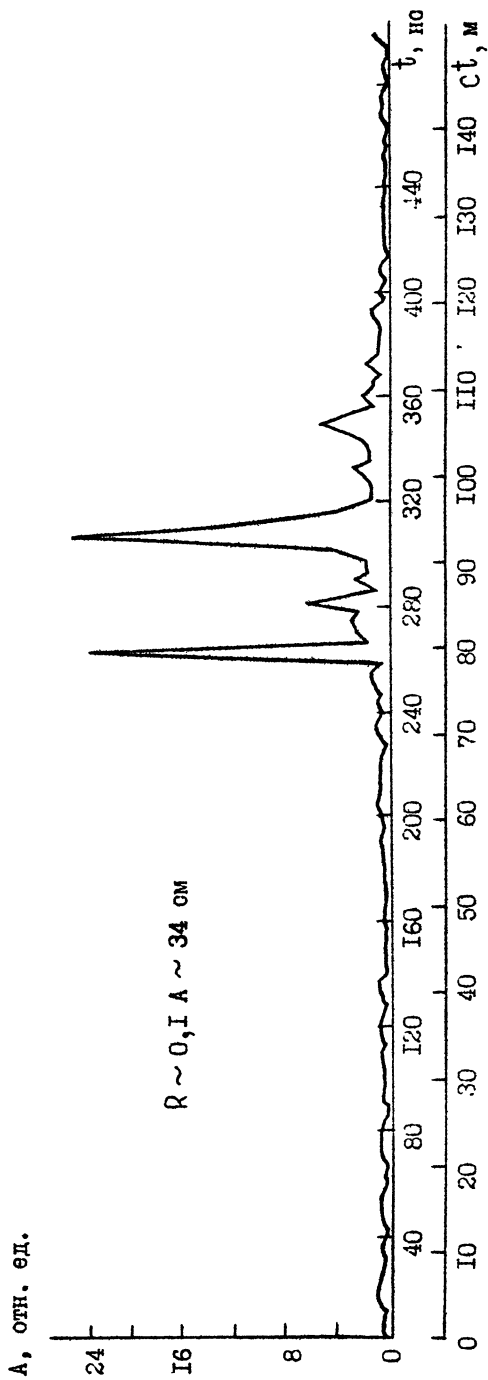
На рис. 11 показана амплитуда сигнала ИА во временной области при положении зонда в центре прожекторного луча ($R = 0$). Зависимость амплитуды синтезированного сигнала от времени при удалении зонда от центра ($R \sim 1$ м) показана на рис. 12. Результаты, приведенные на рис. 11-12, получены при полосе перестройки частоты около 1,5 ГГц с дискретом $\Delta f = 6$ МГц. Достигнутое при этом разрешение по времени Δt_{\min} близко к предельному для данной установки и составляет примерно 1,7 нс ($\Delta(ct) \sim 50$ см). На рис. 13 изображена за-



Р и с . 8



Р и с. 9



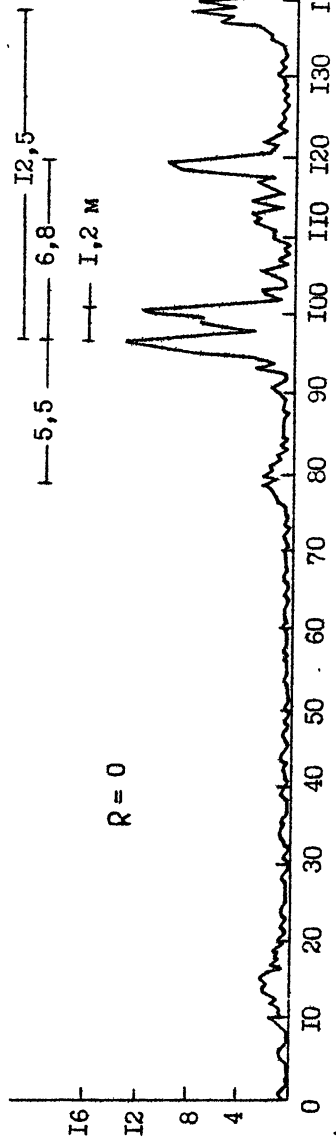
Р и с. 10

висимость амплитуды сигнала от времени для $N = 128$ и $\Delta f = 6$ МГц. Сравнив результаты, показанные на рис. 13 и 11, можно убедиться, что, несмотря на увеличение дискрета вывода в два раза, все характерные особенности распределения составляющих сигнала во временной области хорошо различимы.

На представленных рисунках видно четкое разделение сигнала во временной области на отдельные составляющие. Согласно соотношению /9/, составляющие, соответствующие полю исследуемой антенны, находятся в интервале задержек $75 + 107$ нс ($22,5 \text{ м} < ct < 32,2 \text{ м}$). В этом интервале на рис. 11-13 выделяются компоненты с задержками от 94 до 101 нс, соответствующие пути распространения "зонд - зеркало ИА - облучатель". Составляющие с задержками ~ 78 нс, обусловленные приемом сигнала от зонда через задние лепестки ДН облучателя, имеют существенно меньший уровень. Заметное на рисунках раздвоение основной составляющей полезного сигнала согласуется с результатами, полученными в п. 2. Среди помеховых составляющих измеренного сигнала выделяются компоненты с задержками порядка 119, 139, и 13 нс. По запаздыванию помех относительно полезного сигнала были определены источники рассеянных сигналов. Запаздывание компонент с задержками ~ 119 нс соответствует удвоенному времени распространения между плоскостью сканирования и фокусом ИА. Следовательно, эти компоненты обусловлены однократным переотражением сигнала, излученного зондом, между элементами крепления облучателя и стрелой сканера. Аналогично, компоненты с задержками ~ 139 нс идентифицируются, как соответствующие пути распространения "зонд - зеркало - стрела - зеркало - облучатель", а компоненты с задержками ~ 13 нс, как соответствующие сигналу, дважды прошедшему по тому же пути.

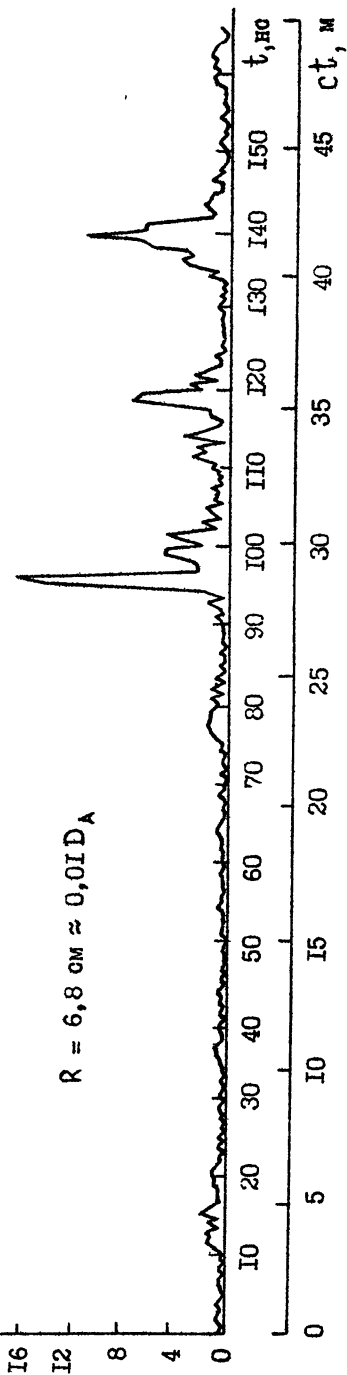
На представленных рисунках видно, что основной вклад в измеряемый сигнал вносят составляющие, разность хода которых порядка 15-20 метров. В связи с этим были проведены измерения многократным способом с полосой перестройки частоты 320 МГц и дискретом $\Delta f = 20$ МГц и восстановление составляющих сигнала во временном окне 50 нс ($ct = 15 \text{ м}$) с дискретом порядка 3 нс. Результат показан на рис. 14 для нескольких значений координат зонда R . На рисунке видно заметное выделение сигнала, соответствующего полю антенны, который приходится, в данном случае, на компоненту с индексом $m = 4$.

A, отн. ед.



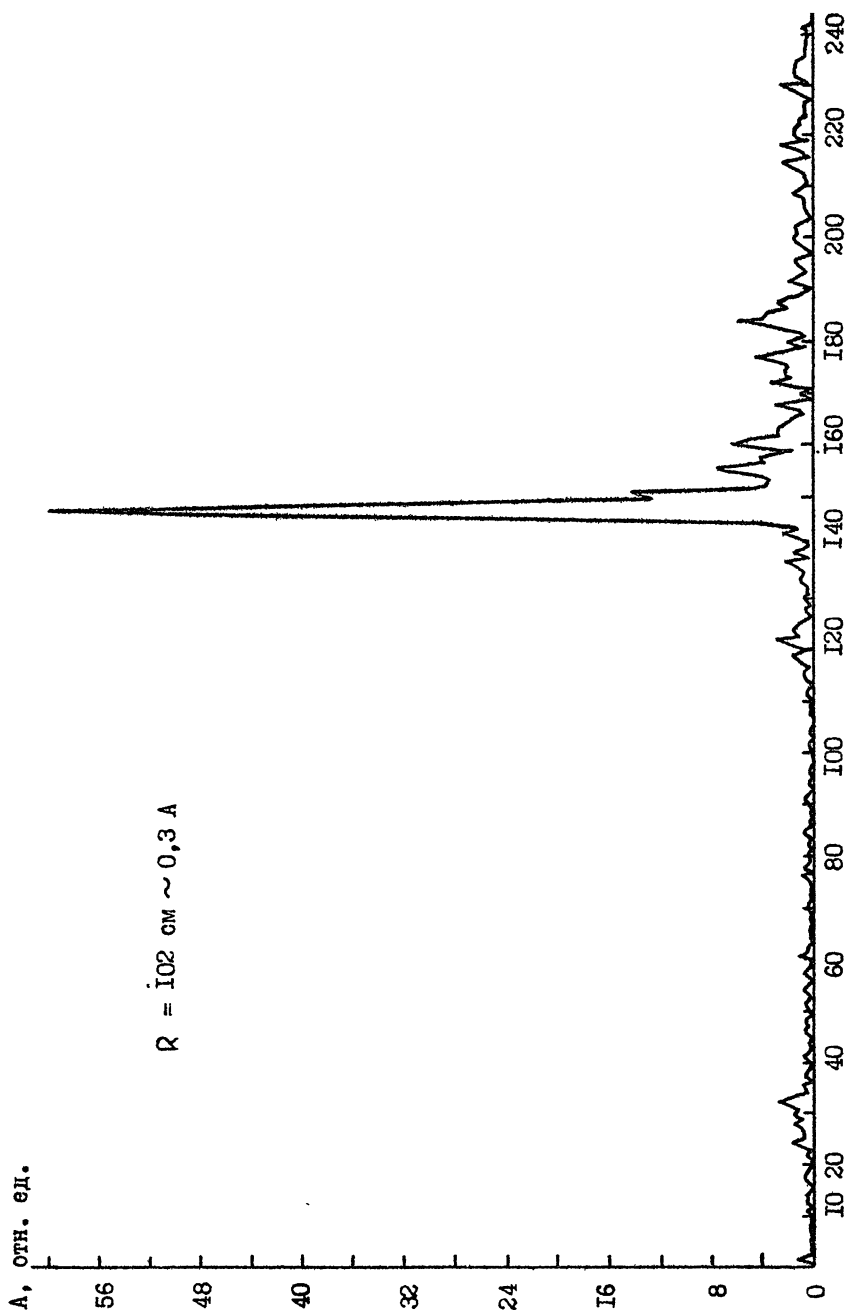
$R = 0$

A, отн. ед.



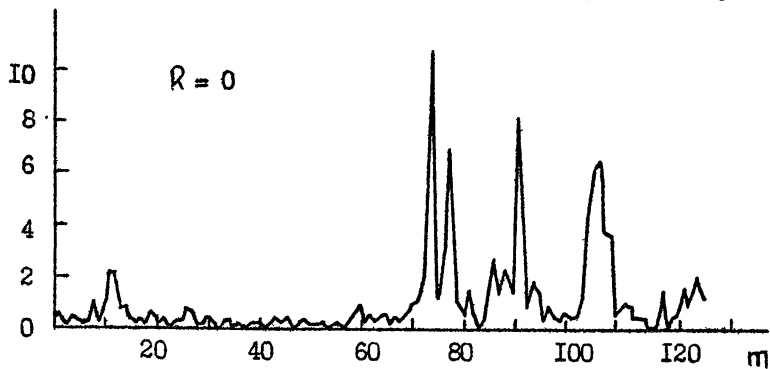
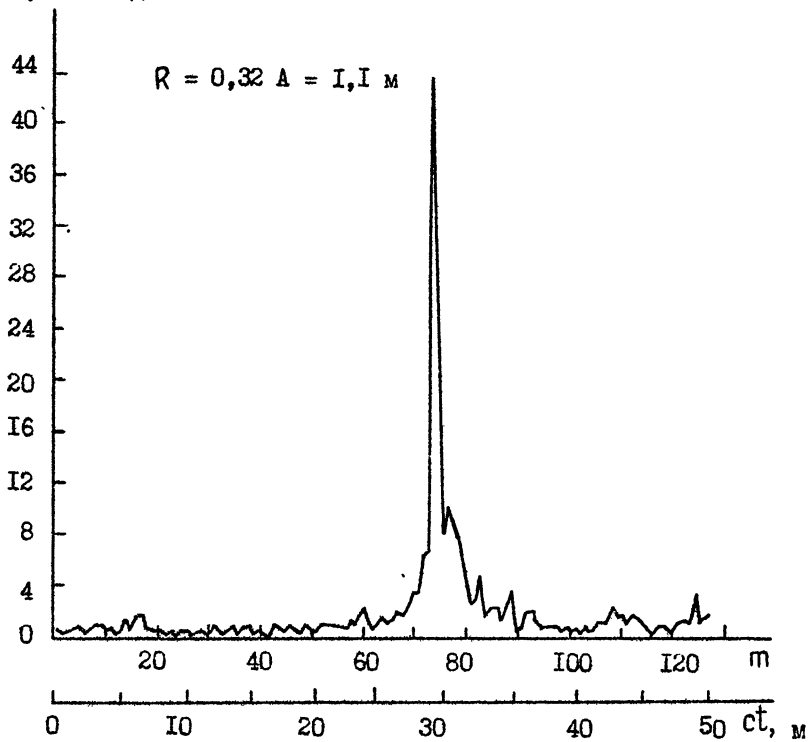
$R = 6,8 \text{ см} \approx 0,01 D_A$

Р и с. II

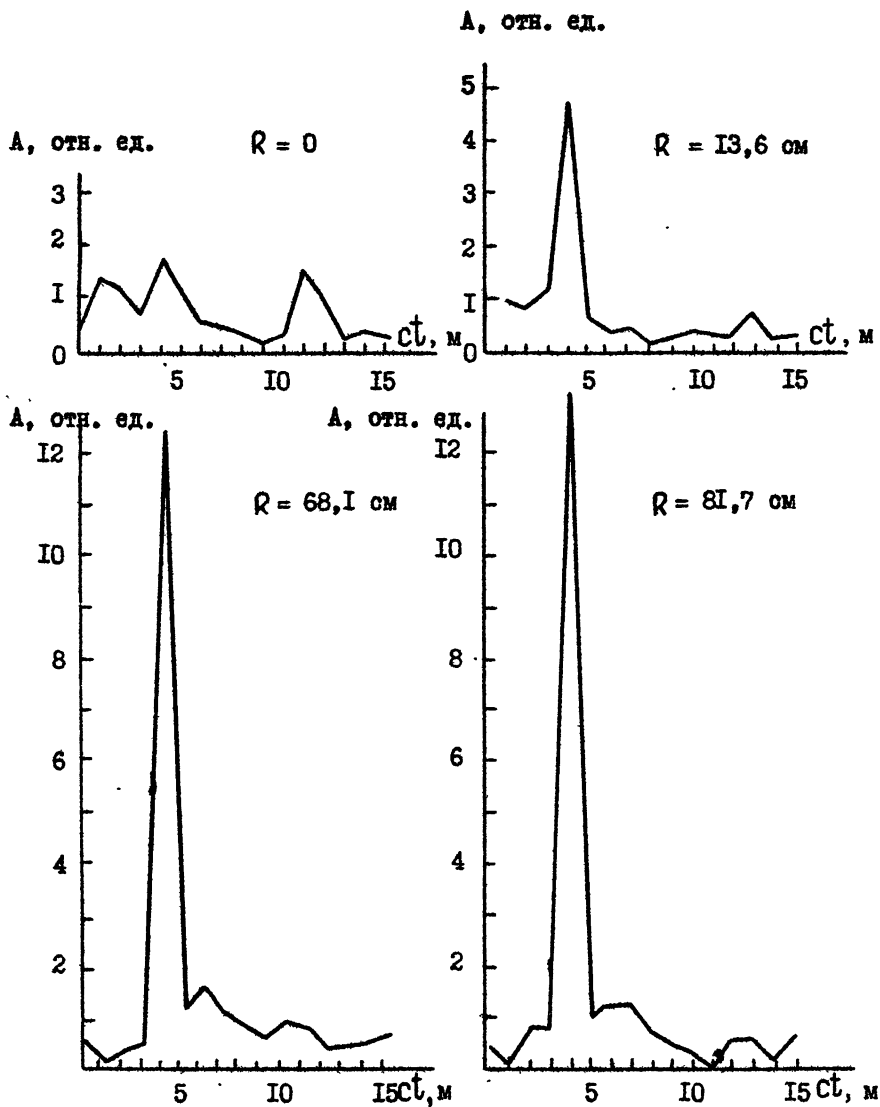


Р и о. 12

A, отн. ед.



Р и с . 13

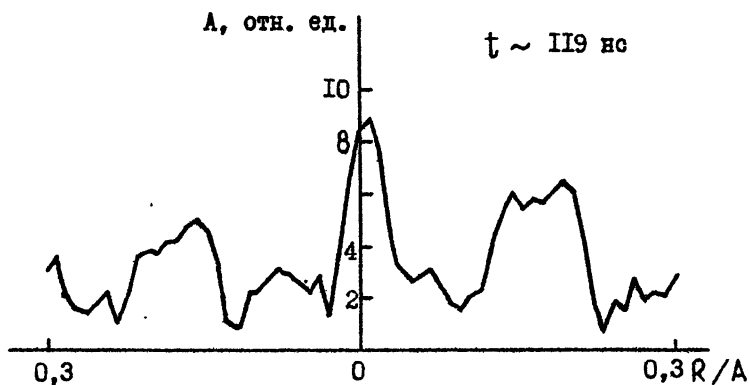
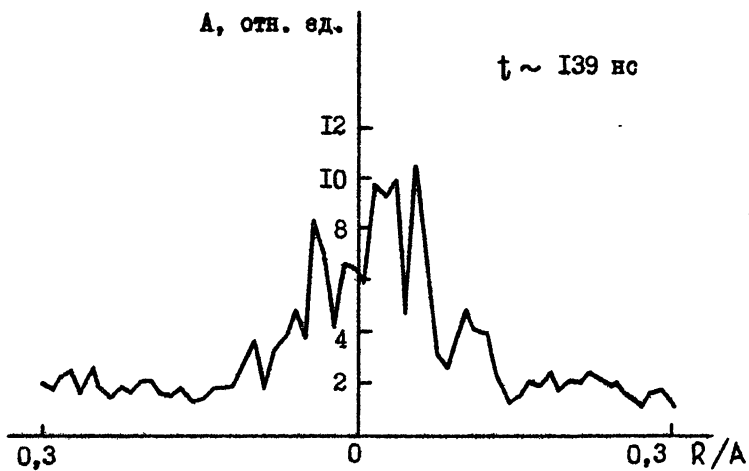


Р и с. 14

Для определения особенностей распределения рассеянных сигналов по поверхности сканирования исследовалась зависимость амплитуд основных помеховых составляющих с задержками порядка 139 и 119 нс (см. рис. 10-13) от координаты R точки измерения. Результат показан на рис. 15. Для сравнения на рис. 16 приведена пространственная зависимость амплитуд основной компоненты полезного сигнала с задержкой $\sim 96,4$ нс. По зависимости, показанной на верхнем графике рис. 15, можно сделать вывод, что перестраивания между стрелой сканирующего устройства и зеркалом ИА наиболее существенны при расположении стрелы в области размером порядка $0,1D$ в центре прожекторного луча. Приведенное на нижнем графике пространственное распределение сигнала практически отслеживает расположение металлических элементов крепления облучателя вдоль радиуса апертуры.

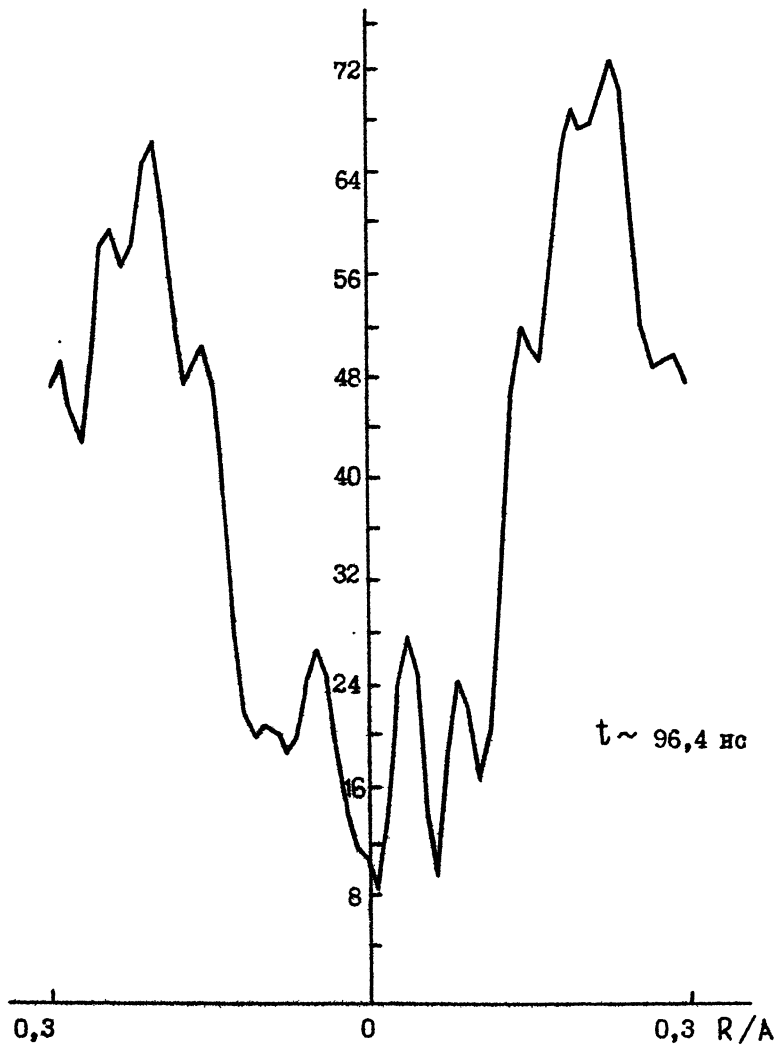
На рабочей частоте стенда $f_0 = 5 \text{ ГГц}$ было восстановлено распределение по поверхности сканирования свободного от рассеянных составляющих поля ИА и рассеянного поля. На рис. 17 показана полученная зависимость рассеянного сигнала от координаты R положения зонда. Крестиками отмечены значения, полученные без укрытия стрелы РПМ. На рис. 18 и 19 соответственно представлены полученные зависимости измеренного на рабочей частоте стенда сигнала и полученного путем обработки результатов многочастотных измерений. Результаты показывают, что с применением РПМ у рассеянного сигнала примерно вдвое снижается уровень и существенно изменяется зависимость фазы от координаты. Кроме того, можно отметить, что распределение "чистого" поля ИА с РПМ на стреле и без него остается неизменным в пределах точности измерений, в то время как зависимость измеренного поля, особенно амплитудная, реагирует на присутствие поглощающего материала.

По полученным распределениям было оценено влияние рассеянного поля на точность измерения на данном стенде характеристик ИА¹ традиционным методом. Для этого по представленным на рис. 17-19 зависимостям были вычислены ДН в предположении, что все двумерные распределения соответствующих сигналов являются осесимметричными. Результаты представлены на рис. 20, где изображены ДН ИА, полученные многочастотным и традиционным радиолокационным и способами, а также ДН рассеянного поля. На левой половине рисунка показаны результаты, полученные без применения РПМ, на



Р и с. 15

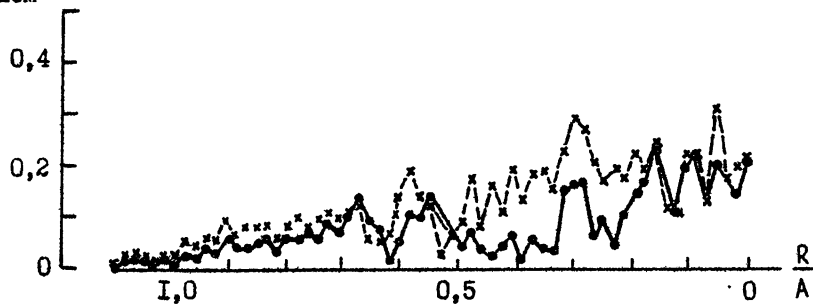
А, отн. ед.



Р и с. 16

$A_{\text{ПОМ}}$, отн. ед.

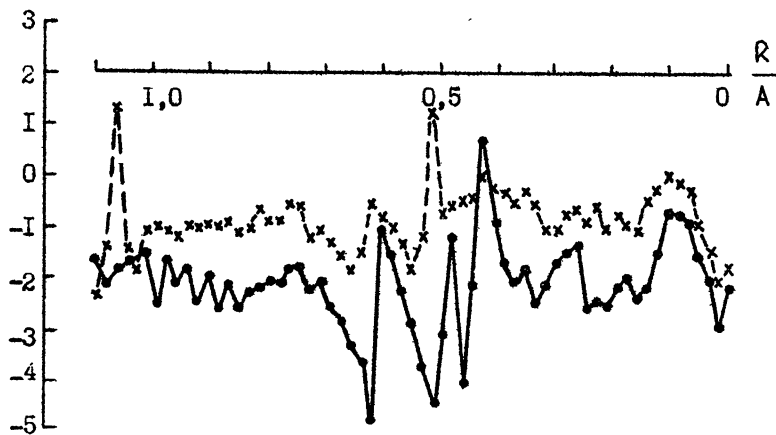
15.09.86 г.



. . . - стрела с поглотителем

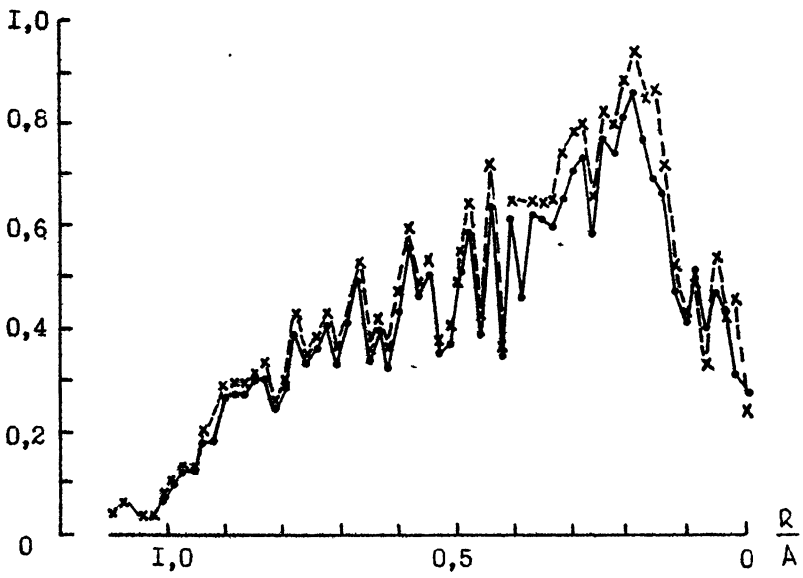
x x x - стрела без поглотителя

$\Phi_{\text{ПОМ}}$, рад

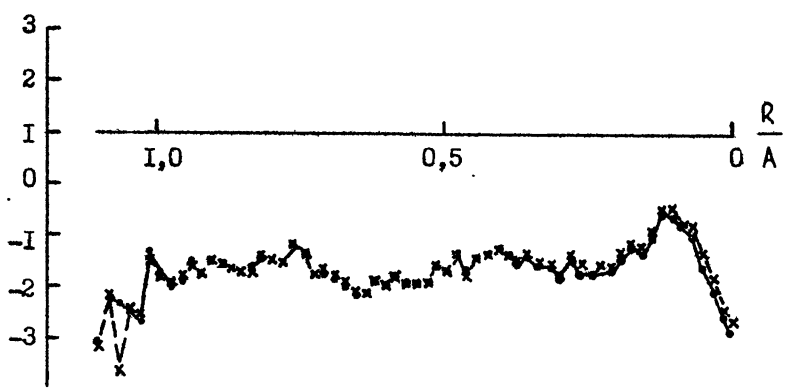


Р и с. 17

$A_{изм}$, отн. ед.



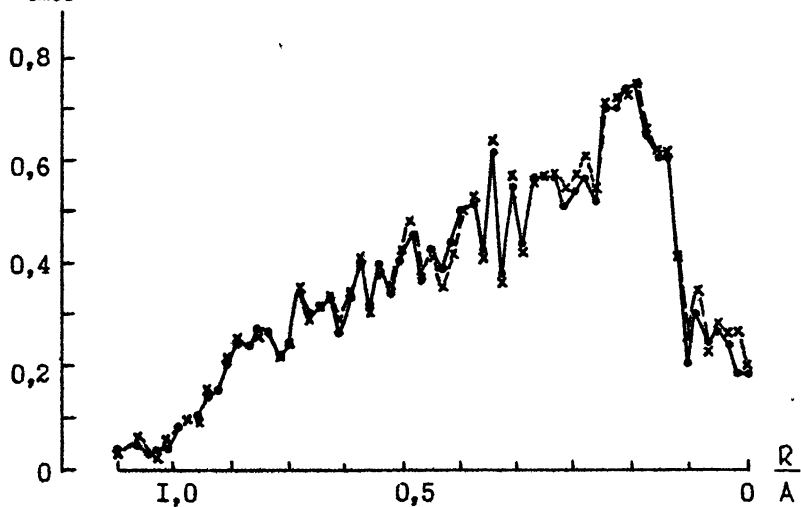
$\Phi_{изм}$, рад



. . . - стрельа с поглотителем
x x x - стрельа без поглотителя

Р и с. 18

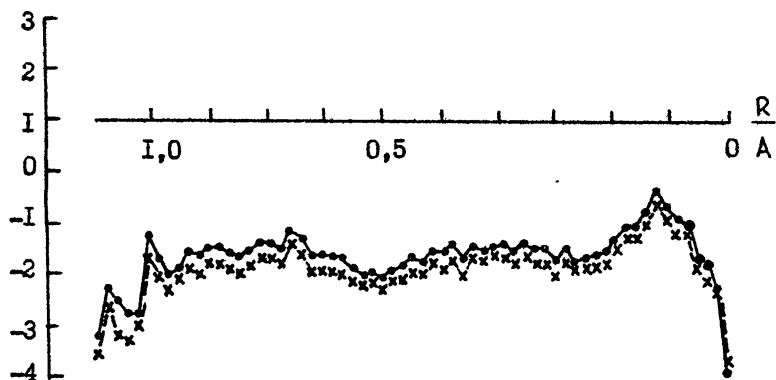
$A_{\text{чист}}$, отн. ед.



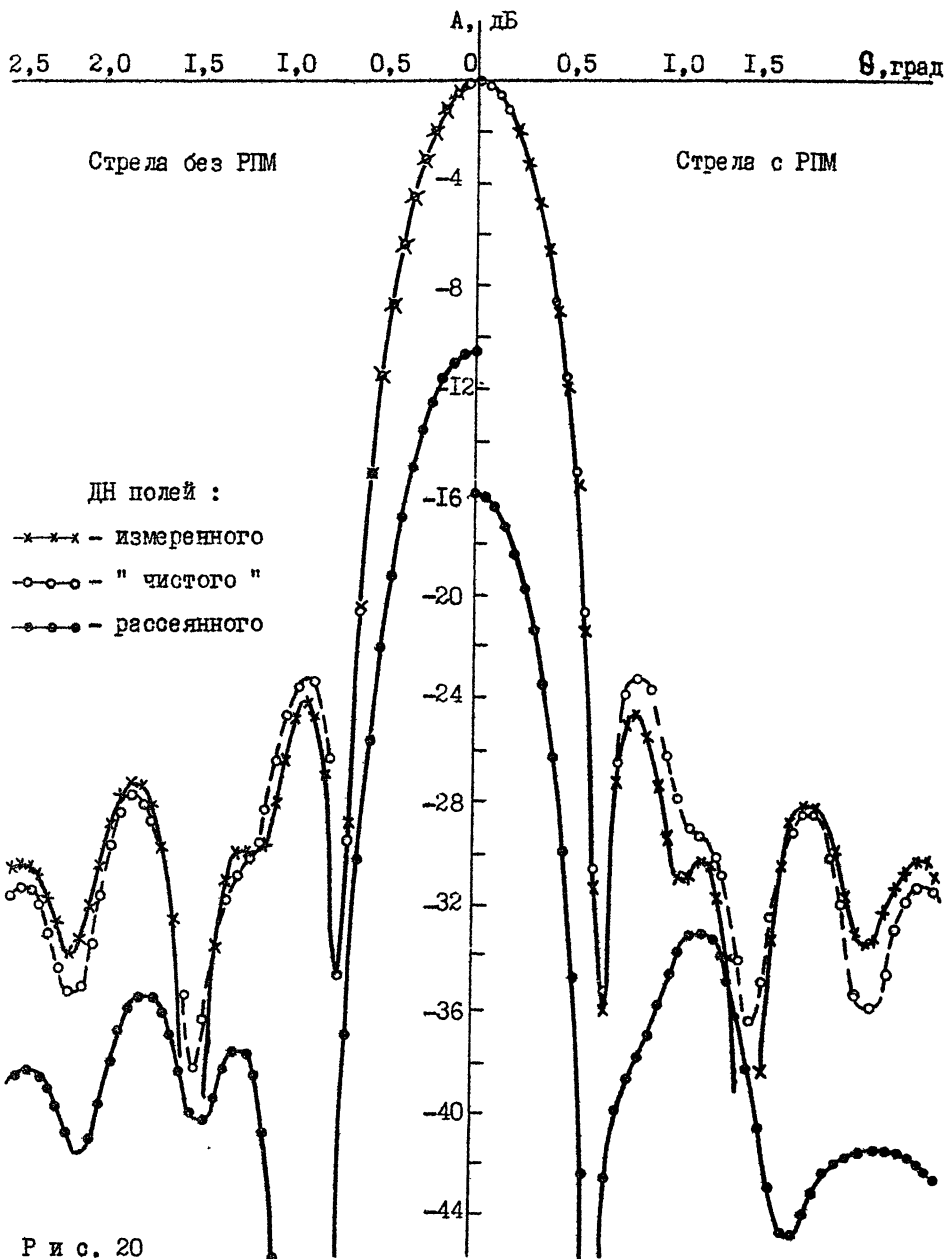
. . . - стрела с поглотителем

x x x - стрела без поглотителя

$\Phi_{\text{чист}}$, рад



Р и с. 19



правой - с РПМ на стреле.

Во-первых, необходимо отметить, что рассеянное поле обладает направленностью и производит незначительные искажения измеряемой ДН при совпадении направления ее главного максимума с максимумом ДН помехи. По-видимому, искажения будут более значительными при отклонении максимума ДН ИА от оси. Во-вторых, очевидно, что применение РПМ, с одной стороны, снижает средний уровень рассеянного сигнала, а с другой, - уменьшает его направленность. Это приводит к отличию в боковых лепестках "измеренной" и "истинной" ДН ИА в направлениях, соответствующих максимумам ДН рассеянного поля. В то время, как "истинные" ДН с РПМ и без него практически полностью совпадают до уровня порядка -35 дБ, "измеренные" ДН отличаются примерно на 3 дБ на уровне -28 дБ в тех направлениях, где имеются максимумы ДН помехи. В целом, можно отметить, что в данном случае ДН, измеренная обычным способом, без РПМ оказалось более точной, чем с поглотителем.

Приведенные результаты подтверждают эффективность использования многочастотного способа при измерении пространственной зависимости поля в ближней зоне антенны для экспериментального определения источников и уровней рассеянных в измерительной установке сигналов, а также для повышения точности определения характеристик антенн в присутствии помех, вызванных рассеянием.

Автор благодарен В.И.Турчину за полезные советы и обсуждение результатов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Захарьев Л.Н., Леманский А.А., Турчин В.И., Цейтлин Н.М., Щеголов К.С. Методы измерения характеристик антенн СВЧ / Под ред. Н.М. Цейтлина - М.: Радио и связь. 1985. 368 с.
2. Воскресенский Д.И., Воронин Е.Н., Комаров В.М., Нечаев Е.Е. Измерение внешних характеристик антенн с учетом искажающих факторов. (обзор). - Изв. вузов. Радиоэлектроника, 1984, Т.27, № 2, с. 4-19.
3. Crawford M.L. Calibration of broadbeam antennas using planar near-field measurements. In: Conference of precision electromagnetic measurements. Boulder, Colorado, 1976, p.21-22.

4. Grimm K.R. Antenna analysis by near-field measurements.- Microwave J. ., 1976, v.19, N4, p.43-52.
5. А.С. И166019 СССР. Способ измерения параметров антенн./Е.Н.Воронин. - Оpubл. в Б.И., 1985, № 25.
6. Fizzimons T.K. Eliminating the effect of site reflections on radiation patterns of microwave aeriials.- Electron Letters, 1968, v.4, N17, p.348-349.
7. Chalupka H.,Galka M.,Schleudermann A. Determination of antenna radiation pattern from frequency-domain measurements in reflecting environment.-Electron.Letters.,1979,v.15,N17,p.512.
8. Пономарев Д.М.; Введенский Д.В., Горячев А.В. Перспективы антенных измерений во временной области. - Тезисы докладов : III Всесоюзная конференция. "Метрологическое обеспечение антенных измерений". Ереван, 1984, с. 122-124.
9. БудаЙ А.Г., Вилькоцкий М.А., Гацика С.В., Гуринович А.Ф., Гуринович В.Ф. Применение время - частотного преобразования при восстановлении характеристик направленности широкополосных антенн голографическими методами. В сб.: "Методы и устройства радио и акустической голографии./ Под ред. Л.Д.Бахраха и А.П.Курочкина. - Л.: Наука, 1983, 128 с.
10. Белов Ю.И., Бахарев Н.В. и др. Стенд для амплифазометрических и радиоастрономических измерений параметров зеркальных антенн. - Тезисы докладов: III Всесоюзная конференция "Метрологическое обеспечение антенных измерений". Ереван, 1984, с.191-192.
11. А.С. И123383 СССР . Сканирующее устройство измерителя волнового поля / Н.В. Бахарев, Ю.И.Белов и др.

Дата поступления статьи

16 декабря 1986г.

Андрей Владимирович Калинин
МНОГОЧАСТОТНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ
В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ АНТЕННЫ

Подписано печать 25.12.86 г. МЦ 01280. Объем 2,25 усл. печ. л.
Бумага многоязычная. Печать офсетная. Формат 60 x 84 1/16.
Тираж 120. Заказ 4517. Бесплатно.

Отпечатано на ротационной НИРФИ.