

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПОЛЯ В РАСКРЫВЕ АНТЕННЫ НА
ЕЁ ДИАГРАММУ НАПРАВЛЕННОСТИ**

Руководство к лабораторной работе

Министерство образования и науки РФ
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**
Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧ и КР)

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой
_____С.Н. Шарангович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ
В РАСКРЫВЕ АНТЕННЫ НА ЕЁ ДИАГРАММУ НАПРАВЛЕННОСТИ**

Руководство к лабораторной работе по дисциплине «Устройства СВЧ и антенны»
для направлений подготовки специалистов 210601.65 – Радиоэлектронные
системы и комплексы и бакалавров 210400.62 – Радиотехника
и по дисциплине «Распространение радиоволн и АФУ» для направления
подготовки 210700.62 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Разработчики:
доцент каф. СВЧ и КР Замотринский В.А.,
Зав. учебной лабораторией Никифоров А.Н.

Новая редакция:
профессор каф. СВЧ и КР Гошин Г.Г.,
доцент каф. СВЧ и КР Фатеев А.В.,
доцент каф. СВЧ и КР Шангина Л.И.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Некоторые вопросы теории антенн.....	5
2. Описание экспериментальной установки.....	13
3. Содержание работы.....	15
4. Контрольные вопросы	19
Список литературы	20
Приложение А	21

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторная работа «Исследование влияния распределения поля в раскры-
ве антенны на её диаграмму направленности» поясняет положение, что поле из-
лучения антенны является результатом интерференции полей от элементарных
участков раскрыва, т.е. зависит от амплитуды и фазы полей на этих участках. Для
лучшего усвоения и понимания работы в описании приведены краткие положения
из теории антенн.

Целью работы является исследование распределения амплитуды и фазы
напряжённости электрического поля (АФР) в раскрыве апертурной антенны и его
влияния на её диаграмму направленности, а также ознакомление с методами из-
мерения амплитуды и фазы поля в диапазоне СВЧ. Исследование проводится на
примерах H - и E -секториальных рупоров (H -рупоров и E -рупоров) и рупорно-
линзовой антенны.

1. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ АНТЕНН

Диаграмма направленности апертурных антенн

Апертурными называют антенны, у которых излучение происходит через некоторую воображаемую поверхность, называемую апертурой или раскрывом антенны. Апертурными являются волноводные, рупорные, зеркальные и линзовые антенны. Поле излучения апертурной антенны описывается формулой Кирхгофа [1].

$$\dot{E}(M) = \frac{j}{2\lambda} (1 + \cos \theta) \iint_S \dot{E}(S) \frac{e^{-jkr}}{r} dS, \quad (1)$$

где $E(M)$ – напряжённость электрического поля в произвольной точке M , находящейся в дальней зоне антенны (см. рис. 1);

λ – длина волны; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число;

θ – угол между нормалью к раскрыву антенны и направлением на точку M ;

S – площадь раскрыва антенны;

$E(S)$ – напряжённость электрического поля на раскрыве антенны;

r – расстояние от элемента dS раскрыва антенны до точки M .

В дальней зоне лучи, проведённые из разных точек антенны в точку наблюдения можно считать параллельными. Граница дальней зоны при максимальной фазовой погрешности $\pi/8$ определяется условием

$$r \geq \frac{2(L_1 + L_2)^2}{\lambda}, \quad (2)$$

где L_1 и L_2 – максимальные размеры апертур передающей и приёмной антенн.

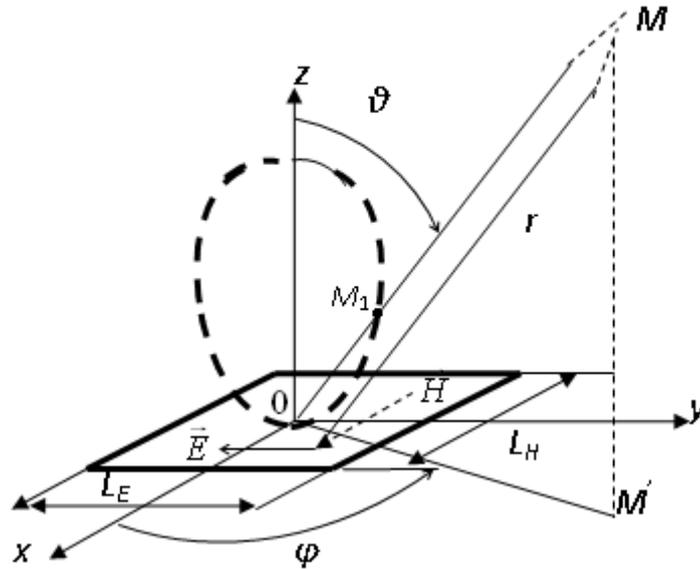


Рисунок 1. К определению поля излучения антенны

На рисунке 1 изображён прямоугольный раскрыв S некоторой антенны с размерами L_E и L_H , (т.е. размерами в направлении E - и H - векторов), ϑ и φ – угловые координаты точки M , точка M' – проекция точки M на плоскость xoy . Пунктирной линией показана возможная диаграмма направленности в плоскости yoz в полярной системе координат. Амплитуда поля на поверхности сферы постоянного радиуса в направлении на точку M пропорциональна длине отрезка OM_1 диаграммы направленности.

Если максимальное значение ДН равно единице, то такая диаграмма называется нормированной. Как видно из формулы (1), ДН антенны зависит от распределения амплитуды и фазы (АФР) поля $E(S)$ на раскрыве S , а также от формы и геометрических размеров раскрыва. Представим поле на раскрыве в виде

$$\dot{E}(S) = E_0 f(x, y) e^{j\Phi(x, y)}, \quad (3)$$

где E_0 – амплитуда поля возбуждения,

$f(x, y)$ – функция распределения амплитуды поля на раскрыве,

$\Phi(x, y)$ – функция распределения фазы поля на раскрыве.

Для антенн с прямоугольным раскрывом в большинстве случаев выполняются соотношения

$$f(x, y) = f(x) \cdot f(y) \quad \text{и} \quad \Phi(x, y) = \Phi(x) + \Phi(y), \quad (4)$$

т.е. распределения поля по осям x и y взаимно независимы и описываются в общем случае различными функциями. Пространственная ДН антенны характеризуется двумя главными сечениями: сечением координатной плоскостью xoz (H -плоскостью) и сечением координатной плоскостью yoz (E -плоскостью).

Подставляя формулу (3) в формулу (1) и учитывая (4), получим следующие выражения для ненормированных ДН антенны в главных сечениях:

$$F_{xoz}(\theta) = \frac{(1 + \cos \theta)}{2} \left| \int_{-L_H/2}^{L_H/2} f_1(x) e^{jkx \sin \theta} e^{j\Phi_1(x)} dx \right|, \quad (5)$$

$$F_{yoz}(\theta) = \frac{(1 + \cos \theta)}{2} \left| \int_{-L_E/2}^{L_E/2} f_2(y) e^{jky \sin \theta} e^{j\Phi_2(y)} dy \right| \quad (6)$$

Множитель $(1 + \cos \theta) / 2$ в формулах (1), (5), (6) представляет собой диаграмму направленности элементарной площадки раскрыва – элемента Гюйгенса, а оставшаяся часть является, так называемым, множителем раскрыва антенны.

***E*- и *H*- секториальные рупорные антенны**

Рупорная антенна – это постепенно расширяющийся волновод. Протекающие по стенкам рупора высокочастотные токи создают внутри рупора и на его раскрыве электромагнитное поле, напоминающее по структуре поле в волноводе. В раскрыве рупора образуется волновой фронт, каждая точка которого, в соответствии с принципом Гюйгенса, является источником элементарной сферической волны. Поля, излучённые точками раскрыва антенны, складываются в пространстве с учётом их амплитуд и фаз (интерферируют), образуя поле излучения рупорной антенны.

H-секториальный рупор (*H*-рупор) образуется путём плавного расширения широкой стенки а прямоугольного волновода при неизменной величине узкой стенки b (рис.2), при этом плоская волна в волноводе преобразуется в цилиндрическую волну в рупоре. Напомним, что характер волны (плоская, цилиндрическая или сферическая) определяется её волновым (фазовым) фронтом – поверхностью постоянных фаз.

В раскрытии H -рупора имеет место цилиндрический волновой фронт с косинусоидальным распределением амплитуд и квадратичным распределением фаз вдоль оси x и постоянными амплитудами и фазами вдоль оси y

$$f_1(x) = \cos\left(\frac{\pi x}{L_H}\right); \quad \Phi_1(x) = \frac{-kx^2}{2R_H}; \quad f_2(y) = \text{const} = 1; \quad \Phi_2(y) = 0, \quad (7)$$

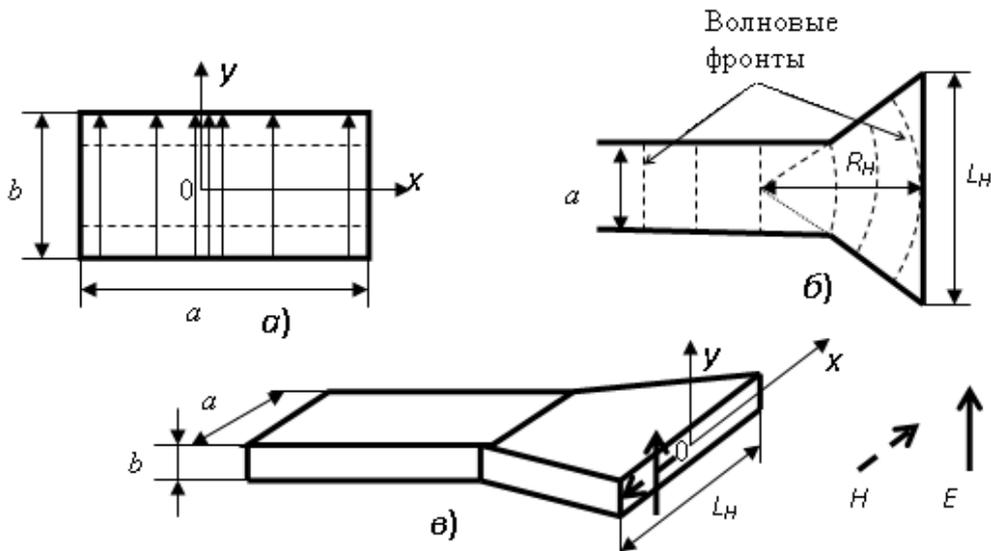
где R_H – высота H -рупора (см. рис.2).

Фазы $\Phi_1(x)$ и $\Phi_2(y)$ определяются по отношению к фазе поля в центре раскрытия (точка $x=y=0$), где она принимается за нуль.

E -секториальный рупор (E -рупор) образуется путём плавного расширения узкой стенки b прямоугольного волновода при неизменной величине широкой стенки a (рис. 3), при этом происходит такое же преобразование волновых фронтов, как и в H -рупоре. Распределение напряжённости электрического поля $E(S)$ на раскрытии E -рупора описывается выражениями:

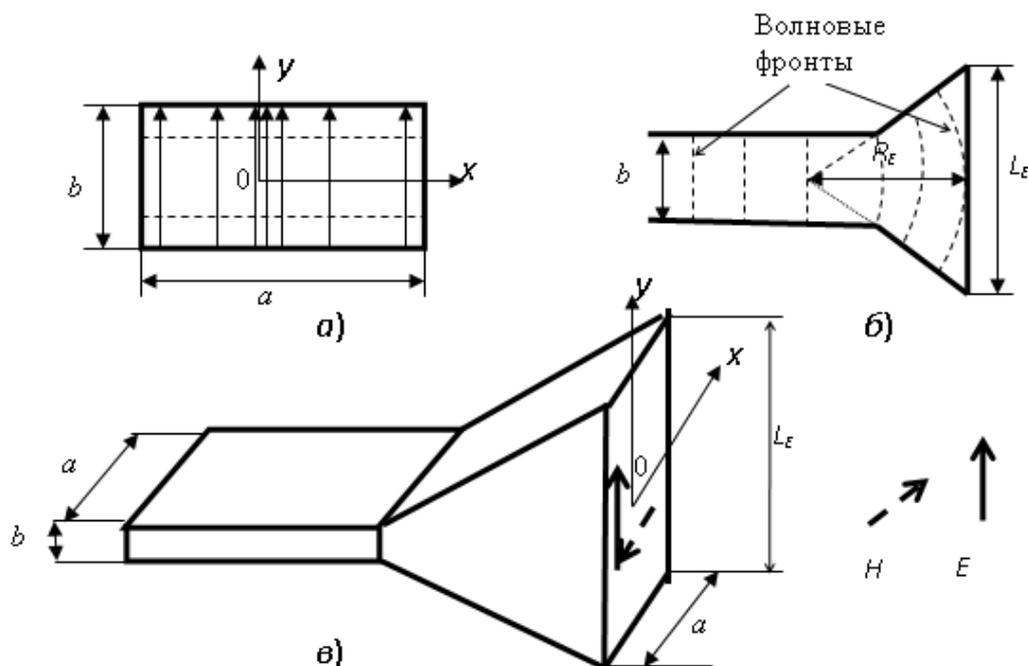
$$f_1(x) = \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right); \quad \Phi_1(x) = 0; \quad f_2(y) = \text{const} = 1, \quad \Phi_2(y) = \frac{-ky^2}{2R_E}, \quad (8)$$

где R_E – высота E -рупора, (см. рис.3).



а) волновод со структурой полей E и H волны H_{10} , б) фазовые фронты в волноводе и рупоре, R_H – высота рупора, в) конструкция H -рупора.

Рисунок 2. H -секториальный рупор



а) волновод со структурой полей E и H волны H_{10} , б) фазовые фронты в волноводе и рупоре, R_E – высота рупора, в) конструкция E -рупора.

Рисунок 3. E -секториальный рупор

Из формул (7), (8) следует, что чем меньше высота рупоров (R_E и R_H), тем больше изменение фазы по раскрытию, которое происходит по квадратичному закону – квадратичные фазовые искажения.

Наличие значительной несинфазности поля в раскрытии, наблюдаемое у коротких рупоров, может привести к расширению ДН, появлению провала в её центре, росту боковых лепестков и даже к раздвоению ДН. Для получения синфазного поля (плоской волны) в раскрытии рупора применяют радиолинзы.

Рупорно-линзовая антенна

Радиолинзы бывают замедляющие ($v_\phi < c$) и ускоряющие ($v_\phi > c$). Если линза вставлена в раскрытие рупора, то такую антенну называют рупорно-линзовой антенной. В настоящей работе исследуется замедляющая линза, которая имеет вид отрезка гиперболического цилиндра, выполненного из диэлектрика с малыми потерями: полистирола, плексигласа или фторопласта (рис.4).

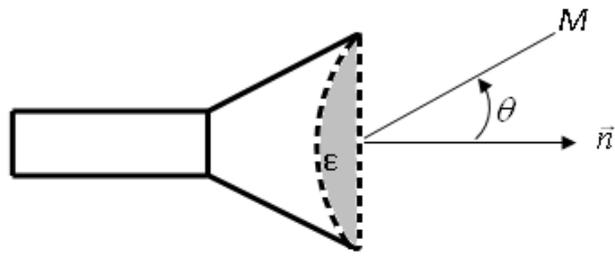
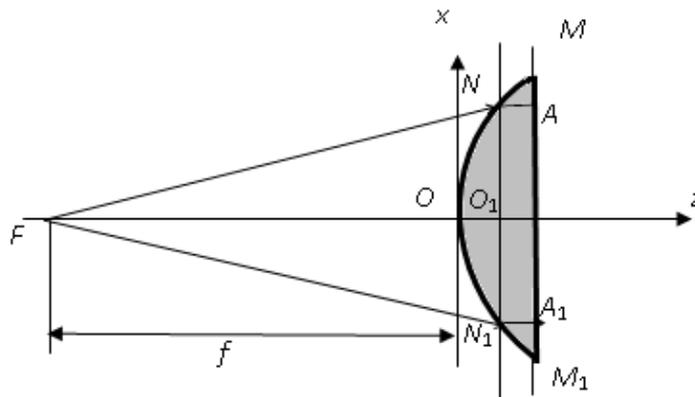


Рисунок 4. Рупорно-линзовая антенна

Назначение линзы – превратить цилиндрический фронт волны в раскрыве секториального рупора в плоский. Ход лучей в линзе и принцип её действия может быть пояснён рисунком 5.



MM_1 – плоскость раскрыва линзы; f – фокусное расстояние линзы.

Рисунок 5. Ход лучей в замедляющей линзе

Условие синфазности поля в раскрыве рупорно-линзовой антенны MM_1 (или в любой плоскости NN_1 , параллельной раскрыву) заключается в равенстве отрезков времени t , затрачиваемых электромагнитной волной на прохождение пути от возбуждителя до плоскости раскрыва или ей параллельной

$$t = \frac{FO}{c} + \frac{OO_1}{v_\phi} = \frac{FN}{c}; FN = \sqrt{(f+z)^2 + x^2}; OO_1 = z; O_1N = x; FO = f,$$

где c – скорость света;

$v_\phi = c/n$ – фазовая скорость электромагнитной волны в линзе,

$n = \sqrt{\epsilon_r}$ – показатель преломления линзы,

ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика линзы,

x и y – координаты произвольной точки N на поверхности линзы.

Таким образом, условие синфазности поля в плоскости NN_1 (и в плоскости раскрыва) может быть записано в следующем виде:

$$\frac{f}{c} + \frac{zn}{c} = \frac{\sqrt{(f+z)^2 + x^2}}{c}.$$

Это уравнение приводится к уравнению гиперболы

$$\left[\frac{z(n+1)}{f} + 1 \right]^2 - \frac{x^2(n+1)}{f^2(n-1)} = 1. \quad (9)$$

Всякая диэлектрическая линза, выравнивая фазовое распределение, меняет и амплитудное, концентрируя энергию к центру линзы. Для тонких линз этим часто пренебрегают, считая амплитудное распределение таким же, как у рупора, а фазовое – постоянным. В данной работе АФР определяется экспериментально и по нему рассчитывается ДН.

Диаграммы направленности рупорных и рупорно-линзовых антенн

В самом общем случае, для любых возможных АФР на раскрыве антенны, диаграммы направленности в E - и H -плоскостях описываются формулами (5) и (6). Если распределение фаз на раскрыве является постоянным или его приближённо можно считать таким, то интегралы в этих формулах легко берутся и нормированные ДН могут быть рассчитаны по следующим формулам:

для равномерного амплитудного распределения

$$F(\theta) = \frac{(1 + \cos \theta)}{2} \left| \frac{\sin \left[\frac{kL}{2} \sin \theta \right]}{\frac{kL}{2} \sin \theta} \right|, \quad (10)$$

для амплитудного распределения $\cos\left(\frac{\pi x}{L}\right)$

$$F(\theta) = \frac{(1 + \cos \theta)}{2} \left| \frac{\cos \left(\frac{kL}{2} \sin \theta \right)}{1 - \left(\frac{kL}{\pi} \sin \theta \right)^2} \right|, \quad (11)$$

где L и θ – размер раскрыва антенны и угол в плоскостях xoz или yoz .

Реально этим случаям соответствуют:

1) достаточно длинные рупора ($R > L$), такие, что разность хода центрального и крайнего лучей от вершины рупора до раскрыва достаточно мала (меньше $\lambda/16$), при этом максимальная фазовая ошибка на раскрыве равна

$$\Delta\varphi_{\max} = \frac{kL^2}{4R} \leq \frac{\pi}{8}; \quad (12)$$

2) рупорно-линзовые антенны с косинусоидальным распределением амплитуд и постоянным распределением фаз.

В случае коротких рупоров с учётом квадратичного фазового распределения (7), (8), ДН определяется формулами (5) или (6), которым можно придать вид:

$$F(\theta) = \frac{(1 + \cos \theta)}{2} \left| \int_{-L/2}^{L/2} f(\xi) e^{-j\left(\frac{k\xi^2}{R}\right)} e^{jk\xi \sin \theta} d\xi \right| \quad (13)$$

где $f(\xi)$ – распределение амплитуды, ξ – координата в направлении размера L (x или y).

Для вычисления ДН по экспериментально измеренным значениям амплитуды и фазы поля в N точках раскрыва, интеграл в формуле (13) может быть вычислен по одной из формул численного интегрирования, например, формуле трапеций

$$F(\theta) = \frac{(1 + \cos \theta)}{2} \left| u(\xi_0) + u(\xi_N) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} u(\xi_i) \right| \frac{L}{2N} \quad (14)$$

$$\text{где } \xi_i = -L/2 + Li/N, \quad u(\xi_i) = f(\xi_i) e^{j\Phi(\xi_i)} e^{jk\xi_i \sin \theta}$$

Коэффициент направленного действия

Коэффициент направленного действия рассчитывается путём численного интегрирования нормированной ДН $F_H(\theta, \varphi)$, полученную для сферических координат, используя нормированное выражение (1), (3) и (4). Тогда выражение для расчёта коэффициента направленного действия имеет вид:

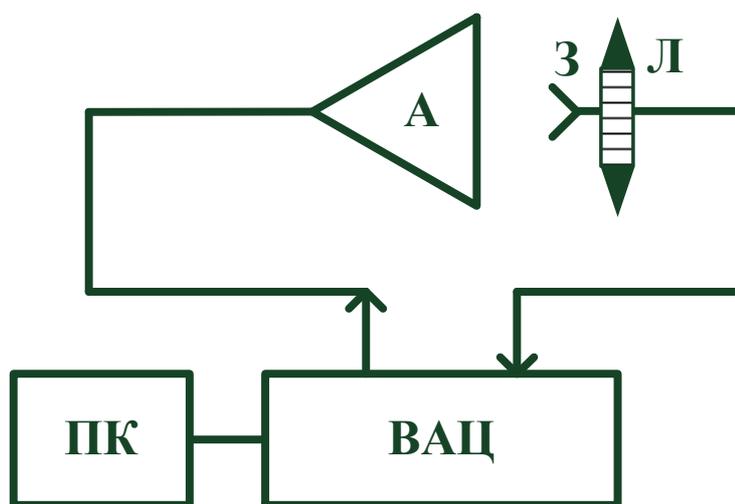
$$D = \frac{4\pi}{\int_0^\pi \int_0^{2\pi} F_H^2(\theta, \varphi) \sin(\theta) d\varphi d\theta}. \quad (15)$$

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Экспериментальная часть работы включает в себя измерение распределения амплитуд и фаз поля в раскрыве H -секториальной рупорной антенны.

На рис. 6 представлена структурная схема экспериментальной установки для выполнения этих задач.

Генератор, находящийся внутри векторного анализатора цепей, формирует сигнал, который разделяется на два канала: один сигнал используется в качестве опорного, а второй сигнал поступает на выход прибора. По кабелю этот сигнал подаётся на вход исследуемой антенны А, в раскрыве которой установлен электрический зонд (несимметричный вибратор длиной примерно $\lambda/4$), который может перемещаться вдоль раскрыва антенны. При этом в нем наводится сигнал, амплитуда и фаза которого пропорциональны амплитуде и фазе вектора E в данной точке раскрыва. Сигнал с зонда по другому кабелю возвращается на векторный анализатор цепей, где сравнивается по амплитуде и фазе с опорным. Для наглядности на схеме направление распространения сигналов показано стрелками.



ВАЦ – Векторный анализатор цепей Р4М-18, А – исследуемая антенна,

З – подвижный зонд, Л – линейка, ПК – персональный компьютер.

Рисунок 6. Структурная схема экспериментальной установки

При измерении распределений амплитуд и фаз поля используется векторный анализатор цепей P4M-18, который предназначен для измерения комплексных коэффициентов передачи и отражения.

Векторный анализатор цепей работает под управлением внешнего ПК с установленным программным обеспечением Graphit P4M, который проводит обработку измеренных данных и обеспечивает отображение измеренных амплитуд в децибелах и фаз в градусах.

Исследуемая антенна – секториальный рупор, имеет входной волновод квадратного сечения, что позволяет возбуждать их как H - или E -секториальные рупоры, поворотом волноводно-коаксиального перехода на 90 градусов. Направление вектора E в волноводе соответствует ориентации возбуждающего штыря в коаксиально-волноводном переходе. Рупор имеет размеры раскрыва 23 мм на 198 мм, а длина рупора равна 179 мм.

Диэлектрическая линза изготовлена из плексигласа ($\epsilon_r = 2,61$, $n = 1,62$) и имеет размеры раскрыва такие же, как у рупора, криволинейной поверхностью она вставляется в раскрыв рупора.

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Расчётное задание

1. На заданной частоте оценить максимальную фазовую ошибку на краю рупора (формула (12)) и определить, можно ли считать фазу на раскрыве постоянной при расчёте ДН (допустимая ошибка составляет $\pi/8$).

2. Рассчитать и построить распределение амплитуд и фаз поля на раскрыве рупора, рассматривая его как *H*- и *E*-секториальный.

3. Рассчитать ДН *H*-рупора в *H*-плоскости с учётом и без учёта квадратичного фазового распределения, сравнить их и сделать вывод о влиянии квадратичных фазовых искажений на ДН *H*-рупора.

4. Повторить п. 3 для *E*-рупора, сравнить ДН *H*- и *E*-рупоров и сделать выводы о влиянии на ДН:

- а) различных амплитудных распределений при постоянных фазовых;
- б) квадратичных фазовых искажений при различных амплитудных распределениях.

5. Рассчитать КНД для *H*- и *E*-рупоров.

Краткая характеристика работы

Объектами изучения в данной работе являются: *H*-рупор, рупорно-линзовая антенна на его основе. Для них необходимо выполнить следующие исследования:

1. Для *H*-рупора – измерить АФР в его раскрыве для *H*-плоскости и рассчитать на их основе ДН. Результаты сравнить с результатами, полученными по п.2 и п.3 расчётного задания.

2. Для рупорно-линзовой антенны – измерить АФР в её раскрыве для *H*-плоскости и рассчитать на их основе ДН. Результаты сравнить с результатами, полученными по п.2 и п.3 расчётного задания.

3. Рассчитать КНД для измеренного *H*- рупора и сравнить с результатом, полученным по п.5 расчётного задания..

Порядок выполнения эксперимента

1. Собрать установку для измерения АФР.
2. Включить ПК.
3. Включить векторный анализатор цепей Р4М-18, установив переключатель ВКЛ на панели измерителя в положение « I » на панели прибора.
4. Выдержать измеритель в течение времени для установки рабочего режима.
5. Для старта ПО Graphit, нажать «Пуск \ Программы \ Микран \ Graphit Р4М 2.2rc3 \Graphit Р4М».
6. Подключиться к прибору с IP 192.168.1.246. (см. рис. 7).

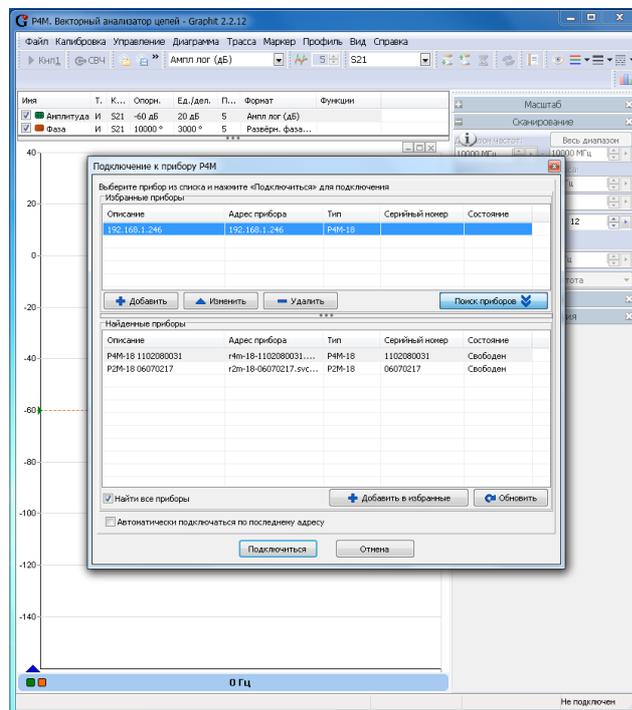


Рисунок 7. Окно для подключение к прибору

7. Загрузить профиль «АФР.grg» (см. рис. 8 №1).
8. Задать частоту на которой будет проводиться эксперимент в поле «центральная частота» (см. рис.8 №2). Для подтверждения изменения параметра необходимо нажать клавишу «Enter».
9. Запустить измерения (см. рис. 8 №3).

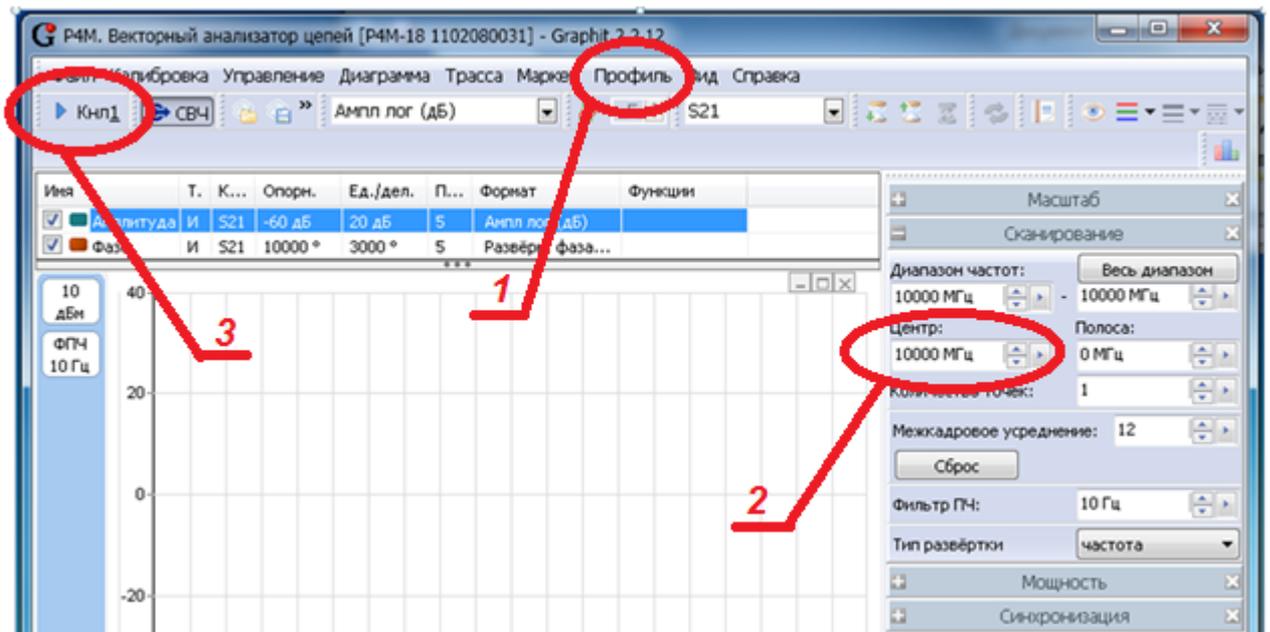


Рисунок 8. Окно программы Graphit

10. Провести измерения распределения амплитуд и фаз в раскрыве H -рупора с линзой и без неё, перемещая зонд вдоль раскрыва. Размер раскрыва рупора L_p уточнить по линейке, закреплённой на установке. Для этого установить зонд в положение $(L_p / 2 + 6)$ мм и через каждые 2 мм проводить измерения пока зонд не достигнет положения $(-L_p / 2 - 6)$ мм. Полученные экспериментальные данные сравнить с теоретическими зависимостями. При расчётах амплитуду сигнала перевести в разы, фазу – в радианы, а размер раскрыва рупора считать $L = L_p + 12$ мм.
11. Выключить прибор, т.е. остановив процесс измерений, закрыв программное обеспечение Graphit Р4М и установив переключатель ВКЛ на панели измерителя в положение « О »
12. Рассчитать и построить графики ДН, сравнить с расчётными данными и сделать выводы о влиянии линзы на АФР.

Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

- 1) Цель работы, краткие теоретические сведения по рупорным и рупорно-линзовым антеннам.
- 2) Схему экспериментальной установки, метод измерения амплитуды и фазы поля.
- 3) Основные расчётные формулы, результаты расчётов и измерений в виде сравнительных таблиц и графиков.
- 4) Выводы о влиянии АФР в раскрыве антенны на её ДН, а также о совпадении экспериментальных и теоретических результатов.
- 5) Оформление должно соответствовать ОС ТУСУР 01-2013 [5]

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните цель работы и каким образом она достигается.
2. Что такое диаграмма направленности антенны?
3. Как и почему влияет амплитудное распределение поля в раскрыве антенны на её ДН?
4. Как и почему влияет фазовое распределение поля в раскрыве антенны на её ДН?
5. Что такое E -секториальные или H -секториальные рупоры, почему они так называются?
6. Объясните принцип действия рупорно-линзовой антенны.
7. Из какого условия определяется профиль замедляющей линзы?
8. Как изменяется ДН секториальной рупорной антенны, если при неизменном раскрыве L её высоту R увеличивать?
9. Как изменяется ДН секториальной рупорной антенны, если при неизменной высоте R её раскрыв L увеличивать?
10. Как должны изменяться размер раскрыва L и высота рупора R , чтобы максимальная фазовая ошибка на раскрыве была постоянной?
12. Объясните методику определения АФР поля в раскрыве антенны.
13. Изобразите и объясните амплитудное и фазовое распределение в раскрыве E -секториального рупора по осям x и y .
14. Изобразите и объясните амплитудное и фазовое распределение в раскрыве H -секториального рупора по осям x и y .
15. Какова форма поверхности линзы и почему? Как толщина линзы зависит от параметров диэлектрика и высоты рупора?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ: Учебник для радиотехнических спец.вузов – М.: Высш. шк., 1988. – 432 с.
2. Антенны УКВ Ч1 и Ч2. / Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Г., Терешин О.В.,– М.:Связь, 1977. – 384с.
3. Измерения параметров антенно-фидерных устройств / Фрадин А.З., Рыжков Е.В. – М.:Связь, 1972. – 352с.
4. Антенны [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Гошин Г. Г. – Томск: ТУСУР, 2012 – 145 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2794>
5. ОС ТУСУР 01-2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tusur.ru/export/sites/ru.tusur.new/ru/education/documents/inside/tech_01-2013_new.pdf

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

**ЛИСТИНГ ПРОГРАММЫ РАСЧЁТА ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ
ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ**

Для заполнения массивов амплитуды A и фазы φ следует вводить как таблицы

$$f = 1.02 \times 10^{10} \quad \text{Частота в Гц}$$

$$c := 3 \cdot 10^8 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad \text{Скорость света}$$

$$\lambda := \frac{c}{f} \quad \text{Длина волны}$$

$$a := 196 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad \text{Ширина раскрыва рупора}$$

$$k := \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{Волновое число}$$

$$Rn := 179 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad \text{Расстояние от геометрического центра рупора до зонда
установленного в центре апертуры}$$

$$N := \text{length}(A) \quad N = 99$$

Количество отчетов

$$j := 0 .. N - 1$$

Номер точки в раскрыве

$$A_j := 10^{\frac{A_j}{20}}$$

Перевод измеренной амплитуды из дБ в разы

$$\varphi_j := \varphi_j \cdot \frac{\pi}{180}$$

Перевод измеренной фазы из градусов в радианы

$$L := 2 \cdot (N - 1) \cdot 10^{-3}$$

Вычисление размера раскрыва рупора в Н-плоскости

$$\xi_j := \frac{-L}{2} + \frac{j \cdot L}{N - 1}$$

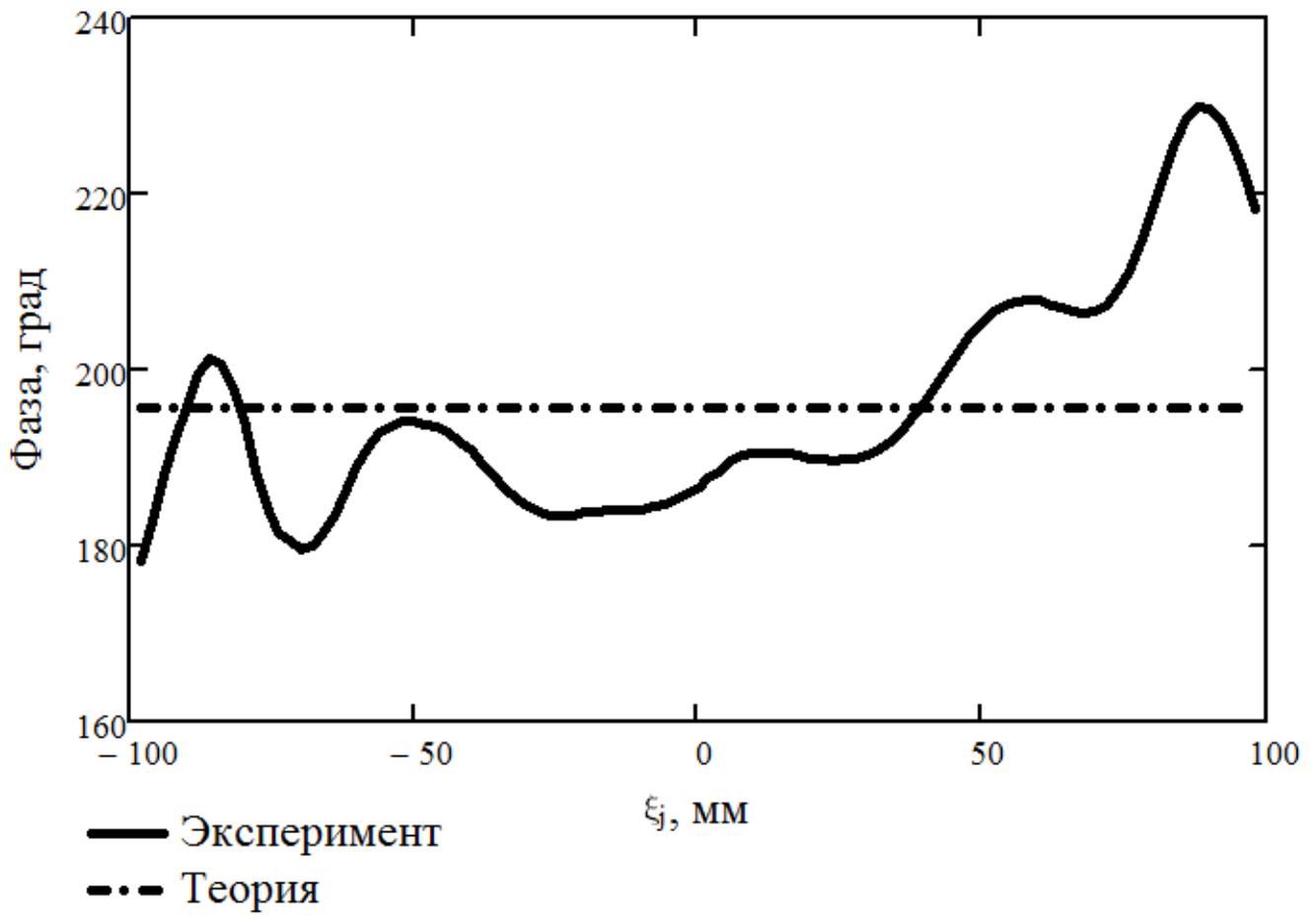
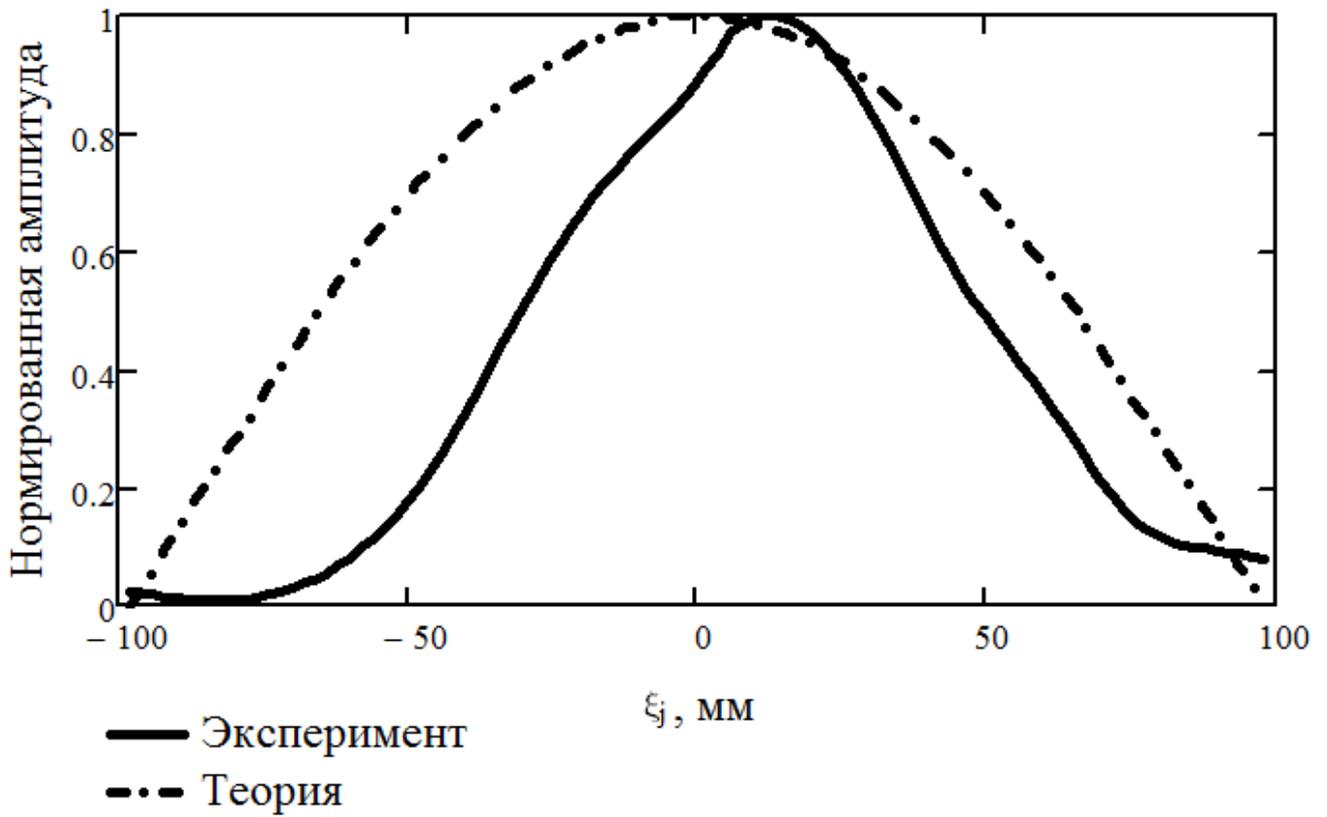
Координата точки раскрыва в Н-плоскости

$$\Phi_t(x) := \text{mean}(\varphi)$$

Синфазное распределение фазы в апертуре рупора, равное среднему значению измеренной фазы

$$A_t(x) := \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{a}\right)$$

Косинусоидальное распределение амплитуды в апертуре рупора



Вычисление ненормированной ДН для теоритического АФР в соответствии с формулой (13)

$$F_t(\theta) := \frac{1 + \cos(\theta)}{2} \cdot \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} A_t(x) \cdot e^{i \cdot \Phi_t(x)} \cdot e^{i \cdot k \cdot x \cdot \sin(\theta)} dx \quad +$$

Вычисление предельных значений углов для численного интегрирования

$$\theta_{\min} := -\operatorname{atan}\left(\frac{L}{2 \cdot R_n}\right)$$

$$\theta_{\max} := \operatorname{atan}\left(\frac{L}{2 \cdot R_n}\right)$$

$$u_j := A_j \cdot e^{i \cdot \varphi_j}$$

Экспериментальное АФР

Вычисление ненормированной ДН для экспериментального АФР в соответствии с формулой (14)

$$F_e(\theta) := \left(\frac{1 + \cos(\theta)}{2}\right) \cdot \left| u_0 \cdot e^{i \cdot k \cdot \xi_0 \cdot \sin(\theta)} + u_{N-1} \cdot e^{i \cdot k \cdot \xi_{N-1} \cdot \sin(\theta)} + 2 \cdot \sum_{j=1}^{N-2} \left(u_j \cdot e^{i \cdot k \cdot \xi_j \cdot \sin(\theta)} \right) \right| \cdot \frac{L}{2 \cdot (N-1)}$$

$$m := 0..200$$

Номер точки по углу θ

$$\theta_m := \theta_{\min} + \frac{m \cdot (\theta_{\max} - \theta_{\min})}{200}$$

Дискретизация угла ДН

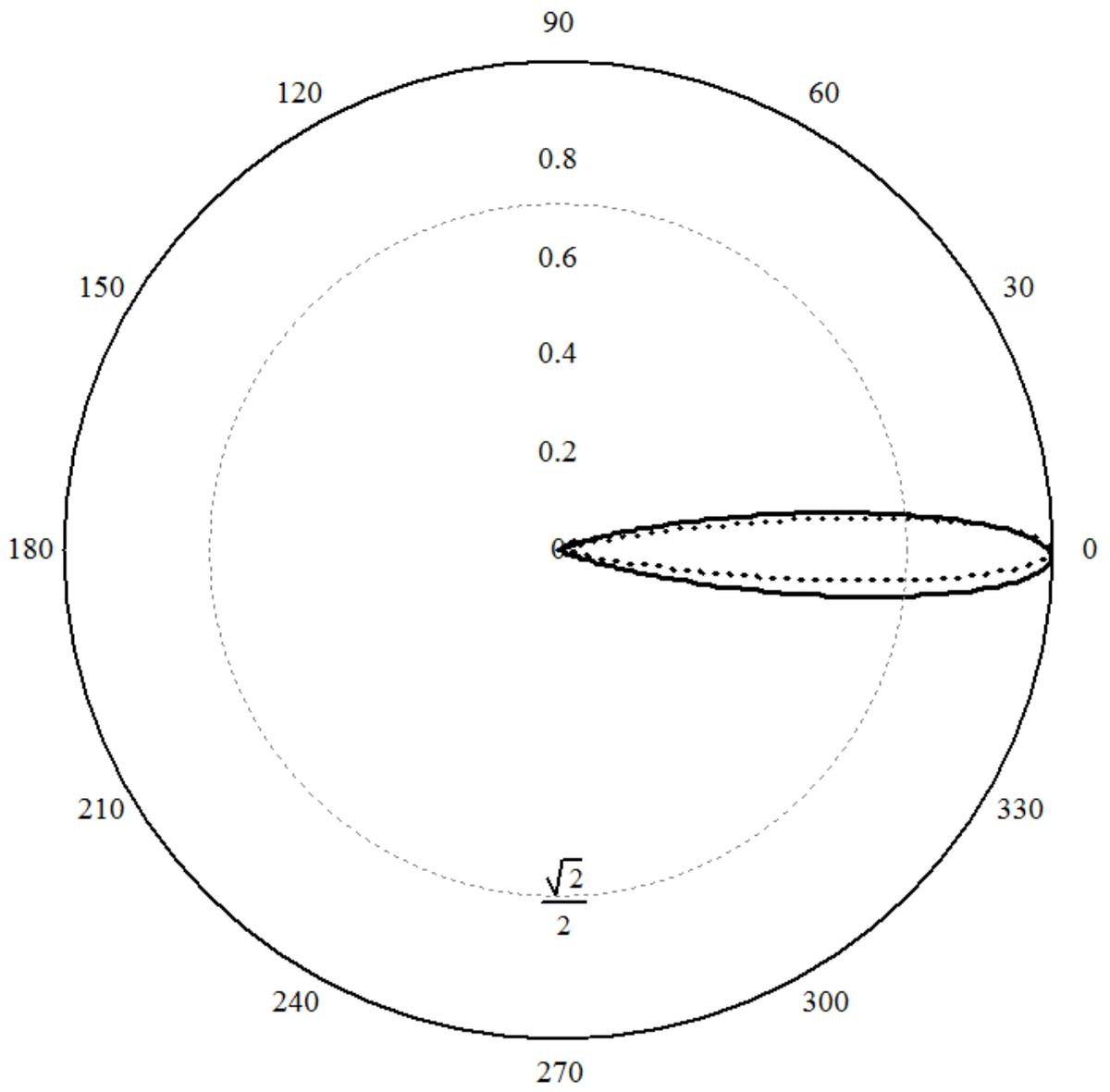
Вычисление КНД для экспериментального АФР в соответствии с формулой (15)

$$De := \frac{4 \cdot \pi}{\int_0^{\pi} \int_0^{2 \cdot \pi} \left(\frac{|Fe(\Theta)|}{\max(|\overrightarrow{Fe}(\theta)|)} \right)^2 \cdot \sin(\Theta) \, d\varphi \, d\Theta} \quad De = 238.095$$

Вычисление КНД для теоретического АФР в соответствии с формулой (15)

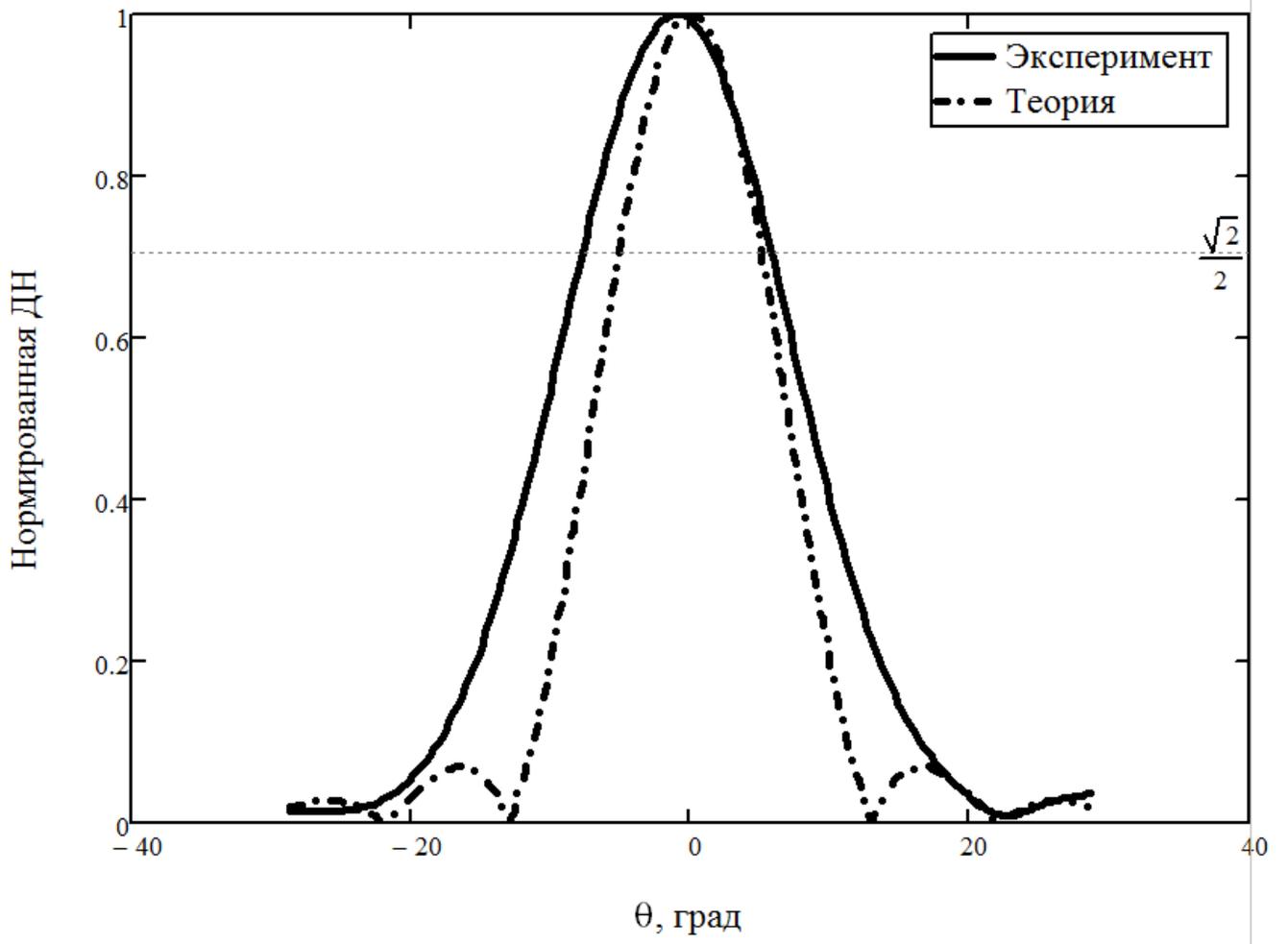
$$Dt := \frac{4 \cdot \pi}{\int_0^{\pi} \int_0^{2 \cdot \pi} \left(\frac{|Ft(\Theta)|}{\max(|\overrightarrow{Ft}(\theta)|)} \right)^2 \cdot \sin(\Theta) \, d\varphi \, d\Theta} \quad Dt = 372.578$$

Нормированная ДН



— Эксперимент

..... Теория



Учебное издание

Замотринский В.А., Никифоров А.Н., Гошин Г.Г., Фатеев А.В., Шангина Л.И.

**Исследование влияния распределения поля в раскрыве антенны
на её диаграмму направленности**

Руководство к лабораторной работе

Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л..

Тираж экз. Заказ

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники.
634050, Томск, пр. Ленина, 40.
Тел. (3822) 533018.