

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

РАДИОТЕХНИКА
И
ЭЛЕКТРОНИКА

Том XXIX

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

Handwritten signatures and initials, including "Академия наук СССР" written vertically.

8

МОСКВА · 1984

УДК 621.396.677

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ОТКЛОНЕНИЯ ЛУЧА ГИБРИДНОЙ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ В ШИРОКОМ СЕКТОРЕ УГЛОВ

Кинбер Б. Е., Классен В. И., Тоболев А. К., Шишлов А. В.

Экспериментально показана возможность отклонения луча гибридной зеркальной антенны в широком секторе углов. Показано, что для расчета возбуждения облучателя гибридной антенны достаточно использовать приближение геометрической оптики.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее [1–3] в геометрооптическом (ГО) приближении были определены положение, размер и закон возбуждения облучателя, дающего отклонение луча гибридной зеркальной антенны (ГЗА) от оси зеркала на углы θ_0 , существенно превышающие ширину главного лепестка $\Delta\theta$ диаграммы направленности (ДН). Это приближение справедливо при $\theta_0 \gg \Delta\theta$, но, как казалось, должно было давать худшие результаты при малых углах $\theta_0 = (1-5)\Delta\theta$.

Ниже описывается эксперимент (краткое сообщение см. [4]), цель которого — проверка справедливости результатов [1–3] для отклонения луча ГЗА на большие углы, а также оценка их применимости при малых углах. Кроме того, в эксперименте проверялась устойчивость ДН к совокупному действию трех факторов: а) дискретизации — замене непрерывного закона возбуждения дискретным; б) пренебрежению взаимодействием элементов при возбуждении решетки; в) влиянию погрешностей возбуждения и изготовления антенны.

В эксперименте использовался макет ГЗА, позволивший отклонять луч на углы θ_0 до 30° (при ширине луча 1°), т. е. до 30 ширин главного лепестка. Проверялось отклонение луча на углы $\theta_0 = 5, 15, 30^\circ$. ДН определялась по результатам измерений поля в ближней зоне.

1. ОПИСАНИЕ МАКЕТА АНТЕННЫ

Использованный в эксперименте макет ГЗА (рис. 1, а) состоял из зеркала 1 (несимметричный параболический цилиндр, $f/\lambda = 25$, $\psi_{кр} = 81^\circ$, $L = BC = 43\lambda$) и облучателя 2 — дуговой E -плоскостной волноводной решетки. При правильно возбужденной решетке сечение фронта отраженной от зеркала волны в сечении симметрии антенны $MNCB$ является плоским, хотя вне его фронт криволинеен. Зеркало несимметрично, что позволило устранить затенение облучателем отраженной волны. Точность изготовления зеркала $\lambda/30$.

Геометрия антенны и отраженной волны в плоскости симметрии показана на рис. 1, б. Линии MB' , NC' ; MB'' , NC'' , MB''' , NC''' — границы свет — тень прожекторного пучка для $\theta_0 = 5, 15, 30^\circ$. Волноводная решетка состояла из 70 сомкнутых по широкой стенке прямоугольных волноводов сечением 23×10 мм. Шаг решетки $0,375\lambda$. Для улучшения согласования она снабжена фланцем (рис. 2). E -плоскостная решетка позволяет более точно реализовать требуемый закон возбуждения, т. е. дает меньшие ошибки дискретизации, чем H -плоскостная решетка. Открытые концы волноводов располагались на дуге окружности, проходящей через кромки

зеркала M , N и фокус параболы F . На этой окружности расположено наиболее узкое сечение (перешеек) волны, падающей на зеркало, при любом θ_0 [3].

При $\theta_0=5^\circ$ возбуждалась группа из 8 элементов ($n=6-13$), при $\theta_0=15^\circ$ — группа из 16 элементов ($n=18-33$), при $\theta_0=30^\circ$ — группа из 32 элементов ($n=35-66$). На рис. 3 представлены зависимости амплитуды $A(\xi)$ и фазы $\Phi(\xi)$ возбуждения от длины ξ вдоль дуги решетки. По шкале абсцисс отмечены также номера волноводов. Штриховые линии — расчет по [3], сплошные — их дискретизированные аналоги. Левый край кривых — точки T' , T'' , T''' (наименьшие номера волноводов) соответст-

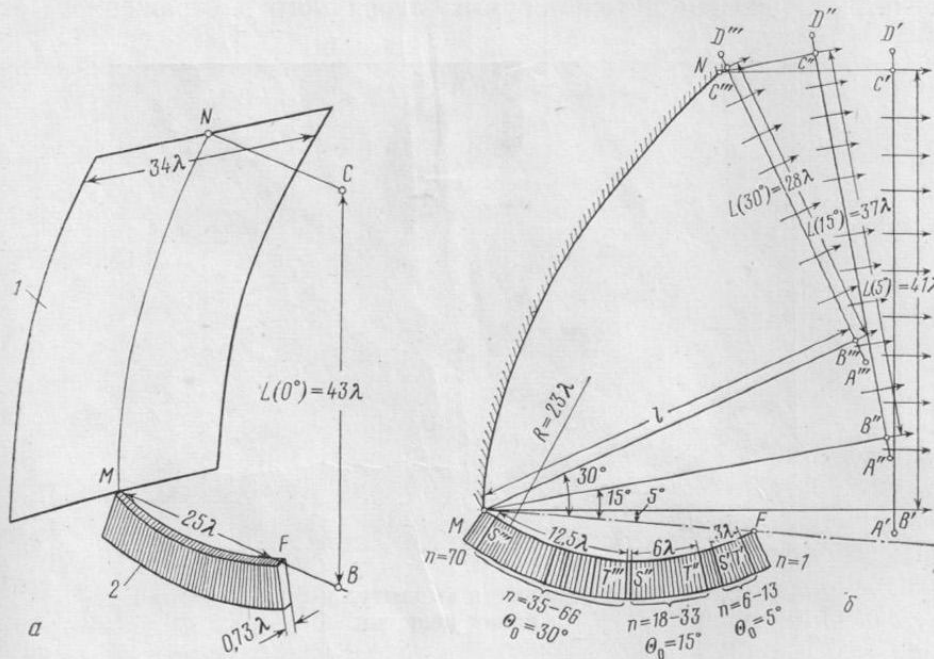


Рис. 1: а — экспериментальная гибридная антенна; б — геометрия антенны в плоскости симметрии

вуют области каустики поля. Правый край — точки S' , S'' , S''' — лучам, попадающим на кромки зеркала. Среднеквадратичное отклонение дискретизированной функции от требуемой по расчету равно 0,8 дБ по амплитуде и 6° по фазе.

Амплитуды и фазы возбуждения волноводов регулировались подбором длин диэлектрических и поглощающих вставок в волноводы. Концы вставок скашивались для улучшения согласования в каждом канале ($K_{СВ} < 1,2$). Распределение амплитуд и фаз на концах волноводов контролировалось при настройке зондом, как показано на рис. 2. Заметим, что при таком способе настройки не учитывается взаимодействие элементов решетки. Точность настройки составила 0,5 дБ по амплитуде и 5° по фазе. Результаты измерений амплитуд и фаз в волноводах показаны на рис. 3 точками. Для $\theta_0=15^\circ$ приведены две независимые реализации закона возбуждения решетки.

2. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ

Измерение ближнего поля антенны проводилось в безэховой камере. Уровень безэховости камеры равен -25 дБ. Измерялись распределения амплитуды и фазы в плоскости симметрии по фронту прожекторного луча (в приближении ГО) в интервалах $A'D'$, $A''D''$, $A'''D'''$ для $\theta_0=5, 15, 30^\circ$ соответственно на двух расстояниях: $l=38\lambda$, $l=45\lambda$ (см. рис. 1, б). Погрешность ориентации линии измерений относительно ГО-фронта составляла 5 угловых минут.

При измерениях использовался волноводный зонд (рис. 4). Измерения проводились компенсационным методом [5]. Погрешность измерений

равна 0,5 дБ по амплитуде и 3° по фазе (оценивалась по паспортным данным приборов). Шаг измерений 0,6 λ . Интервал измерений превышает прожекторный пучок на 2–3 λ с обеих сторон. Величина интервала была ограничена возможностью координатного устройства. Выбранный интервал гарантировал [6] восстановление ДН в главном лепестке. В первых двух боковых лепестках восстановление было возможно с меньшей точностью из-за влияния ложных краевых волн от концов интервала измерений.

Результаты эксперимента приведены на рис. 5: точки — результаты измерений, сплошная линия — амплитуда поля в приближении ГО. Пунктир — расчет токовым методом суммы первичного и отраженного от зер-

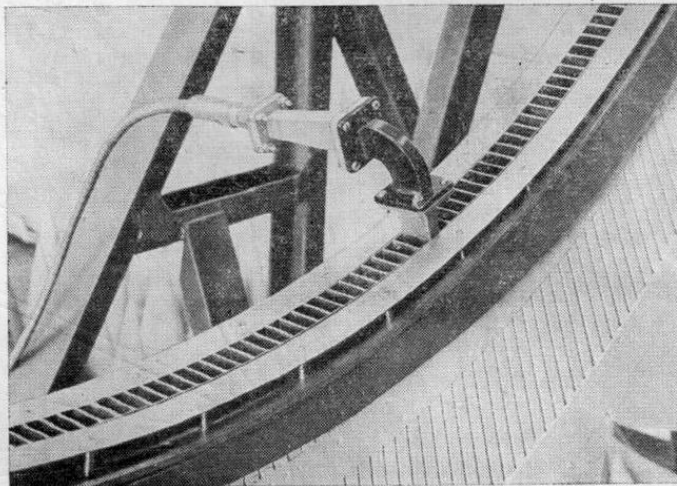


Рис. 2. Зонд для измерения амплитуд и фаз сигналов в каналах решетки

кала полей. Точкам B' , C' ; B'' , C'' ; B''' , C''' соответствуют границы прожекторного пучка.

Различие результатов измерений и расчета в ГО-приближении связано с тем, что наряду с ГО-волной в ближнем поле есть ряд дифракционных компонент, к которым относятся две краевые волны кромок M и N зеркала, краевая волна края S облучателя (из которого выходят лучи, попадающие на кромки зеркала), а также отражение этой краевой волны в зеркале. Интерференция указанных волн с ГО-полем обуславливает осциллирующий характер ближнего поля. Наибольший вклад в осциллирующую компоненту дает краевая волна облучателя. Она обуславливает наиболее быстрые осцилляции. Расчетное количество этих осцилляций и их положение (см. рис. 5) удовлетворительно согласуются с результатами эксперимента. При увеличении θ_0 частота осцилляций уменьшается, так как уменьшается угол между лучами ГО-поля и лучами краевой волны облучателя.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ

ДН антенны определялись в эксперименте двумя методами: а) пересчетом измеренного ближнего поля в дальнюю зону; б) пересчетом токовым методом, т. е. в виде суммы полей элементарных излучателей (открытых концов волноводов), комплексные амплитуды возбуждения которых измерялись с помощью зонда (см. рис. 2). Кроме того, ДН были рассчитаны токовым методом по ГО-распределению на облучателе [3], т. е. в отсутствие дискретизации закона возбуждения.

На рис. 6, а приведены ДН, определенные методами а) и б) для $\theta_0=30^\circ$, а также ДН, определенные по ГО-распределению на облучателе и «идеальные» ДН — расчет по ГО-распределению в апертуре зеркала. ДН на рис. 6, б соответствуют двум независимым реализациям закона возбуж-

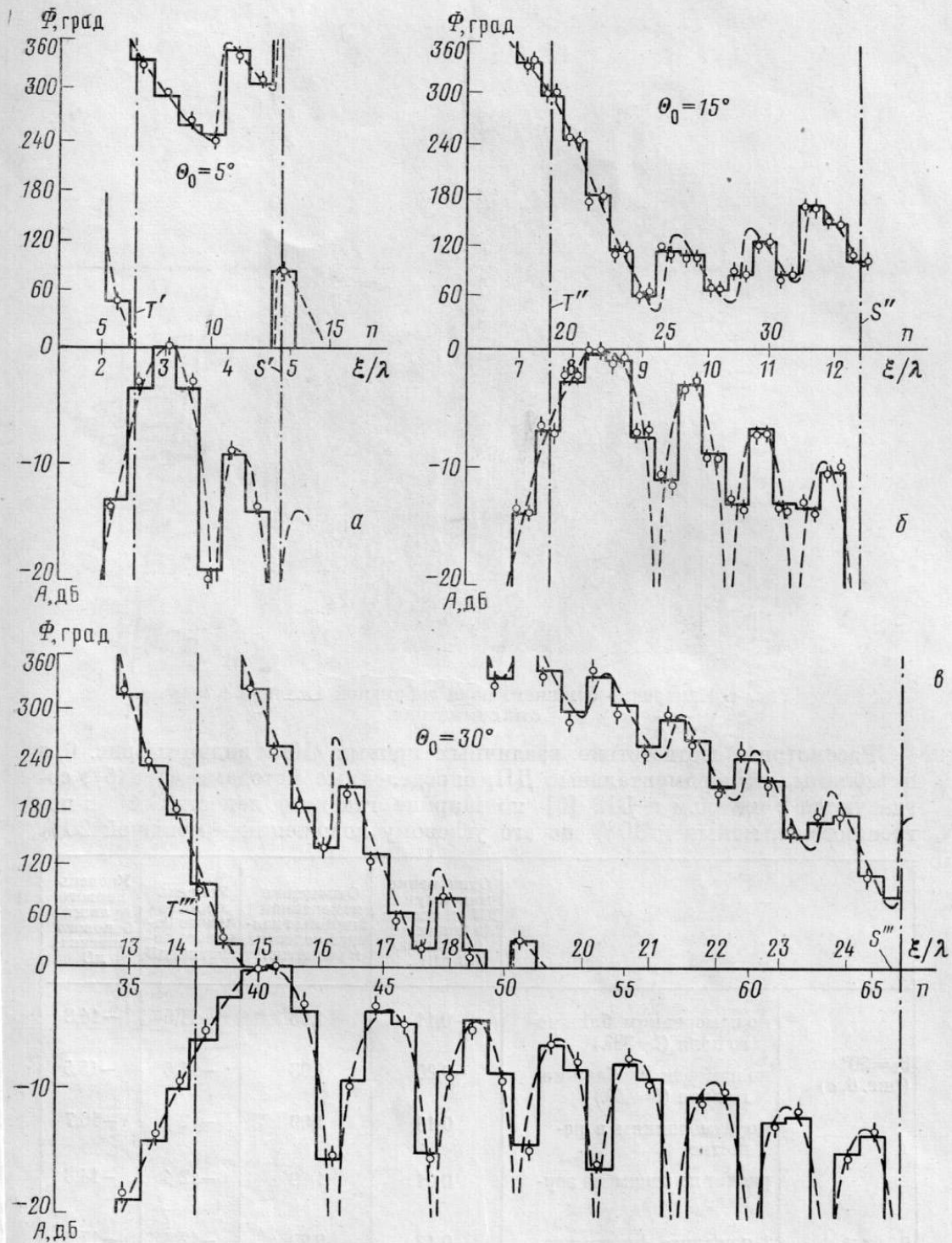


Рис. 3. Закон возбуждения облучателя для различных углов отклонения луча: пунктир — расчет на основе ГО [3] (ξ — расстояние, отсчитываемое вдоль дуги окружности FM от F к M (см. рис. 1, б)); сплошная линия — дискретизированное распределение: величина поля в пределах каждого волновода постоянна и равна расчетному ГО-значению для середины волновода (деления на оси n соответствуют серединам волноводов); темные точки — измерения в каналах решетки (1-я реализация); светлые точки — измерения в каналах решетки (2-я реализация для $\theta_0=15^\circ$); штрихпунктир вертикальный — границы ГО-пучка

дения облучателя для $\theta_0=15^\circ$ (см. рис. 3, б). ДН на рис. 6, в соответствуют трем углам отклонения луча ($\theta_0=5, 15, 30^\circ$).

В табл. приведены наиболее существенные параметры ДН: отклонение максимума от расчетного положения, отношение измеренной ширины главного лепестка к ширине апертурного идеала, уровни первых боковых лепестков.

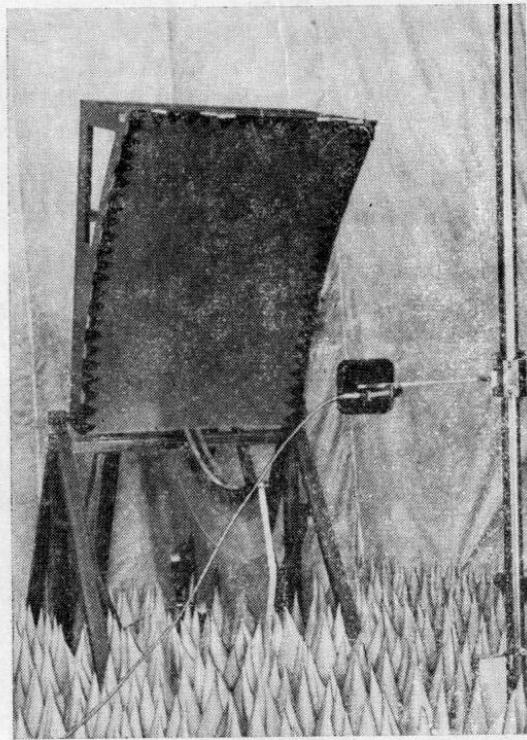
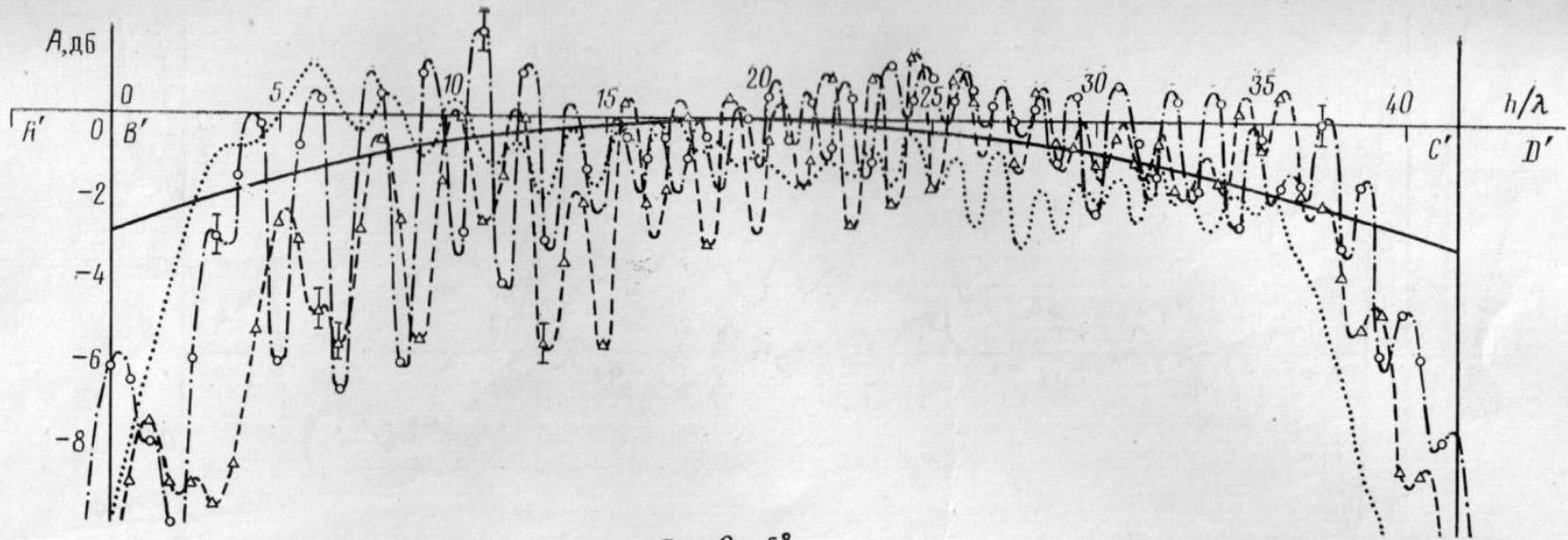


Рис. 4. Измерение ближнего поля гибридной антенны в плоскости симметрии

Рассмотрим соответствие различных кривых. Как видно из рис. 6, а и таблицы, экспериментальные ДН, определенные методами а) и б), согласуются с идеалом и ДН [3] по ширине главного лепестка $\Delta\theta$ с погрешностью, меньшей 10%, по его угловому положению, — меньшей 20%

		Отклонение максимума ДН от идеала (в долях $\Delta\theta$ по уровню 3 дБ)	Отношение измеренной ширины главного лепестка к расчетной	Уровень первого левого бокового лепестка, дБ	Уровень первого правого бокового лепестка, дБ	
$\theta_0=30^\circ$ (рис. 6, а)	по измерениям ближнего поля ($l=38\lambda$)	-0,11	1,05	-11,5	-14,8	
	по измерениям ближнего поля ($l=45\lambda$)	-0,20	1,03	-11,5	-15,5	
	по измерениям в решетке	0,13	1,09	-12	-16,7	
	расчет по токам на зеркале	0,01	1,00	-12,4	-14,3	
$\theta_0=15^\circ$ (рис. 6, б)	1-я реализация	по измерениям ближнего поля	0,12	0,99	-12,2	-17,2
		по измерениям в решетке	-0,14	1,02	-11,2	-13,8
	2-я реализация	по измерениям ближнего поля	0,14	1,06	-11,1	-17,5
		по измерениям в решетке	-0,18	1,06	-12,4	-14,8
(рис. 6, в)	$\theta_0=5^\circ$	0,20	1,01	-16,6	-15,6	
	$\theta_0=15^\circ$	0,12	0,99	-12,2	-17,2	
	$\theta_0=30^\circ$	-0,11	1,05	-11,5	-14,8	



$a \quad \theta_0 = 5^\circ$

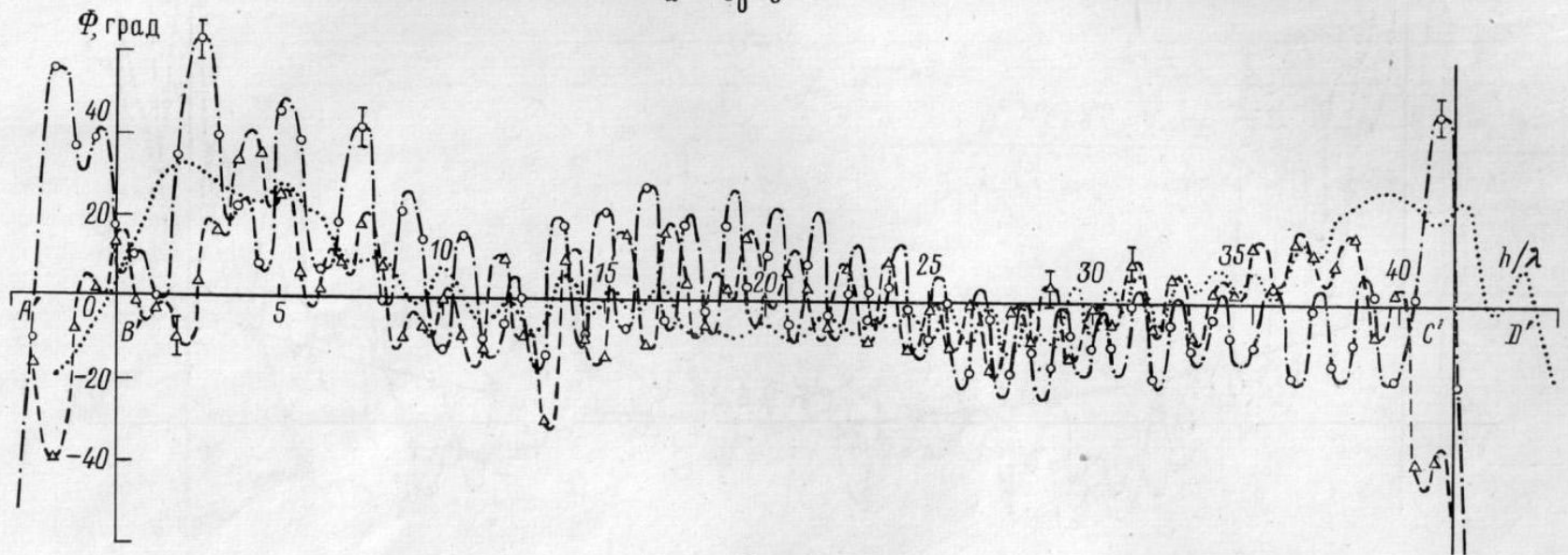


Рис. 5а

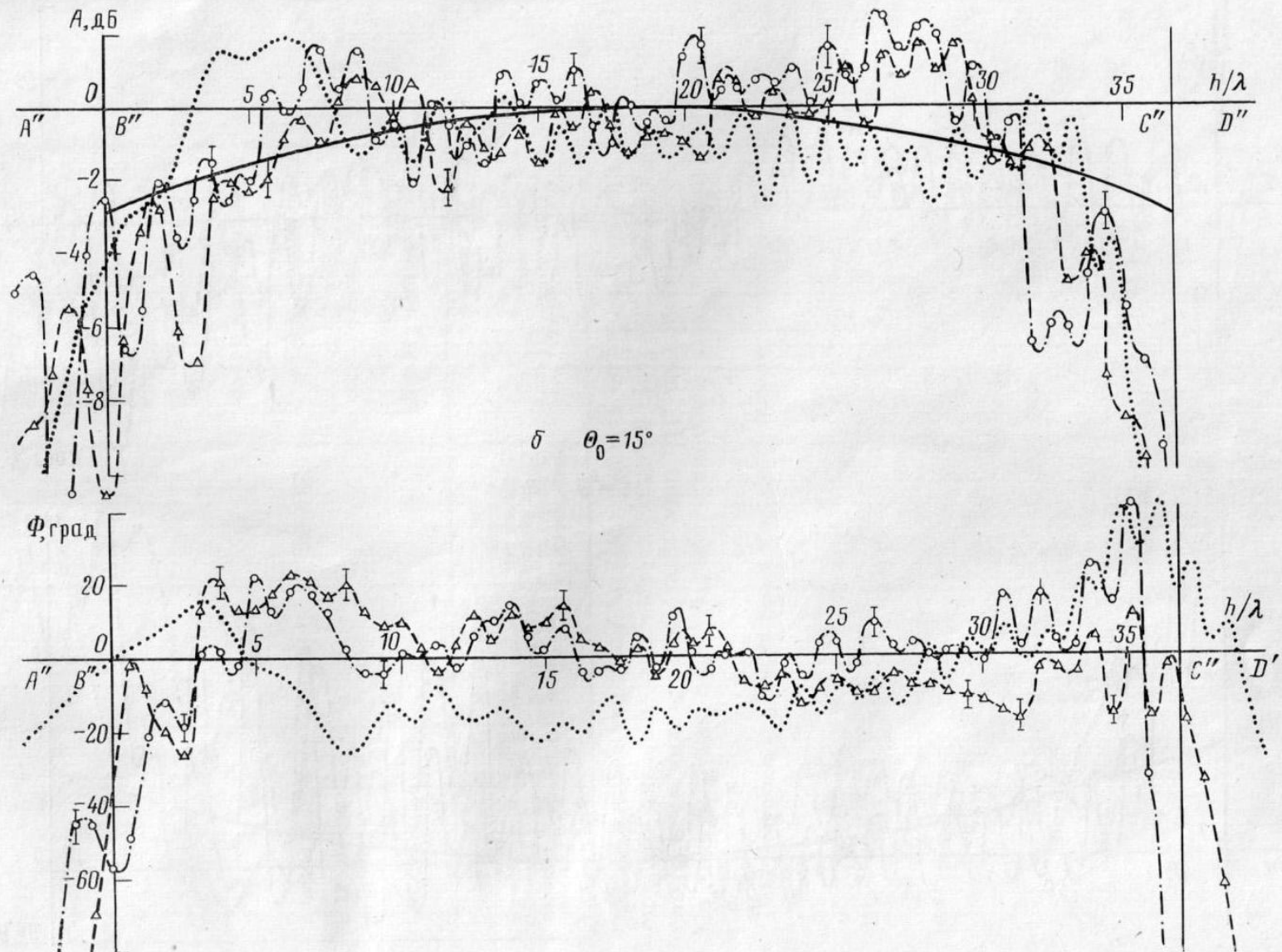


Рис. 56

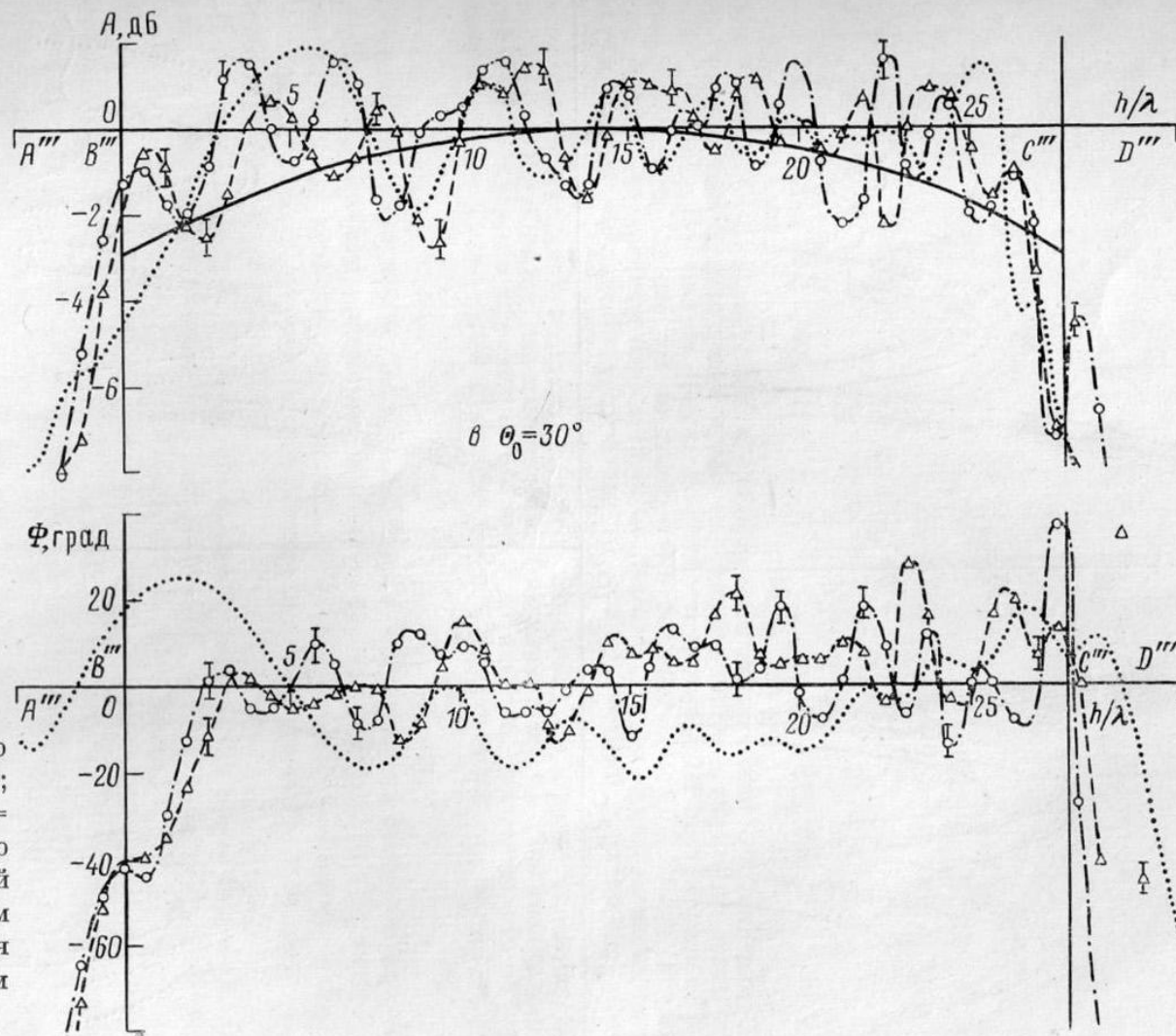


Рис. 5. Амплитуда и фаза ближнего поля: точки — измерения при $l=38\lambda$; треугольники — измерения при $l=45\lambda$; сплошные линии — расчет по геометрической оптике; точечный пунктир — расчет токовым методом суммы первичного поля облучателя и отраженного от зеркала поля при $l=38\lambda$

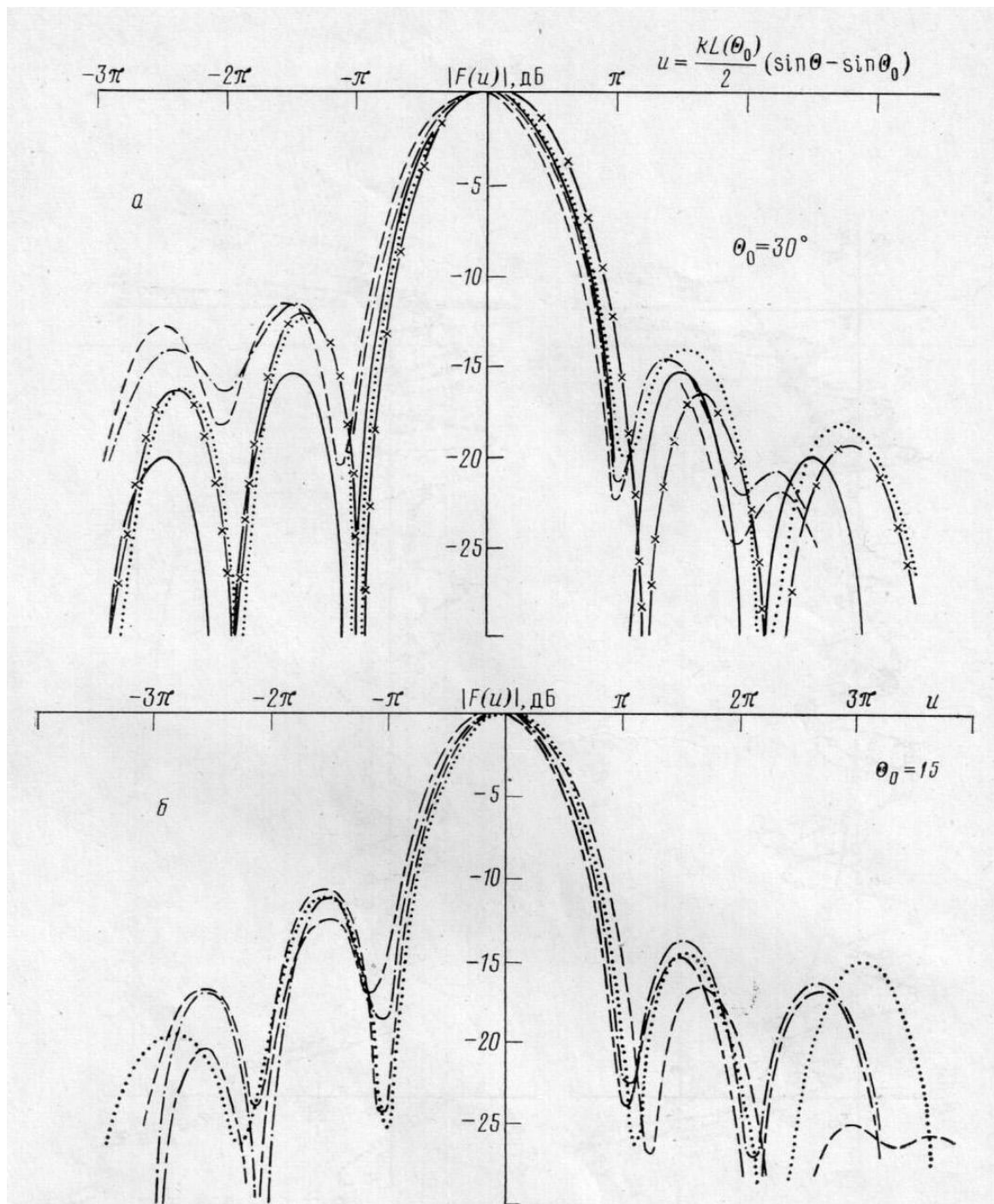


Рис. 6, а, б

(в долях $\Delta\theta$). Несколько больше отличие ДН от идеала в первом и втором боковых лепестках. Отчасти это связано с использованием ГО-приближения для расчета возбуждения облучателя [3]. Действительно, как следует из рис. 6, а, уровень первого бокового лепестка ДН, полученной по методу [3] (пунктир), выше, чем у идеала на 1–3 дБ.

В главном и первом боковом лепестках отличие ДН, полученных методами а) и б), от ДН, найденной методом [3], лежит в пределах погрешности эксперимента. Об этом свидетельствуют результаты измерений ближнего поля на двух расстояниях (рис. 6, а), а также измерения при двух независимых реализациях закона возбуждения (рис. 6, б).

Величина погрешности не зависит от θ_0 (рис. 6, в), т. е. хорошее соответствие теоретических и экспериментальных результатов наблюдается как при больших, так и при малых углах. Соответствие при малых θ_0 объясняется тем, что ГО-приближение правильно указывает размер и положение облучателя при $\theta_0 \rightarrow 0$ (при $\theta_0 = 0$ ГО-приближение соответствует сферической волне облучателя). При больших θ_0 использование

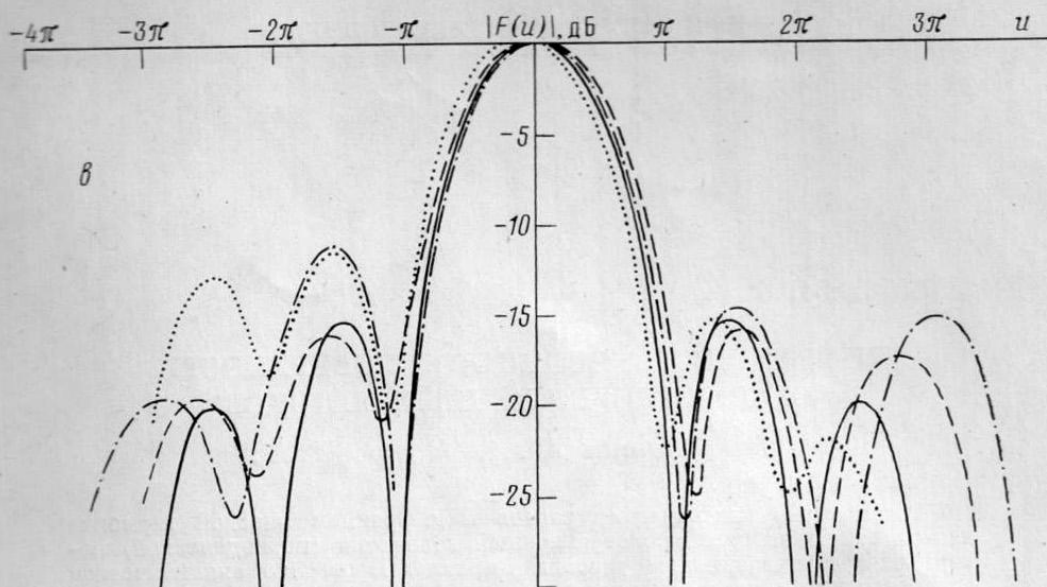


Рис. 6. ДН гибридной антенны: *a* – определение различными методами для $\theta_0=30^\circ$; сплошная линия – апертурный идеал; точечный пунктир – расчет по токам на зеркале (ГО-распределение на облучателе); крестпунктир – ДН по измерениям в каналах решетки; пунктир – ДН по измерениям ближнего поля ($l=38\lambda$); штрихпунктир – ДН по измерениям ближнего поля ($l=45\lambda$). *б* – для двух независимых реализаций закона возбуждения облучателя ($\theta_0=15^\circ$); точечный пунктир – по измерениям ближнего поля ($l=38\lambda$, 1-я реализация), пунктир – по измерениям ближнего поля (2-я реализация), штрихпунктир – по измерениям в каналах решетки (1-я реализация), тирепунктир – по измерениям в каналах решетки (2-я реализация); *в* – для различных θ_0 по измерениям ближнего поля ($l=38\lambda$), пунктир – $\theta_0=5^\circ$, штрихпунктир – $\theta_0=15^\circ$, точечный пунктир – $\theta_0=30^\circ$, сплошная линия – апертурный идеал

ГО-приближения приводит к возрастанию асимметрии бокового излучения.

Таким образом, экспериментально подтверждены результаты работ [1–3] о возможности отклонения ДН зеркальной антенны в большом секторе углов и показана достаточность ГО-приближения для расчета возбуждения облучателя ГЗА.

Авторы благодарят М. М. Измайлову за помощь в расчетах, Л. Б. Карбута, К. Э. Ефименко, А. Э. Казаряна за помощь при измерениях, Р. И. Рагушкину, А. В. Кузовкина, В. Д. Жучкова, А. Н. Третьякова, А. С. Прошина, С. И. Клинцева, В. А. Спиридонова за изготовление антенны, Б. А. Ремизова, В. К. Шило, И. Н. Росса, В. А. Колобова за постоянную поддержку работы и обсуждение ее результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кинбер Б. Е., Классен В. И., Шишлов А. В. Синтез облучателя гибридной зеркальной антенны методами ГО и ГТД. – Тез. докл. республ. науч.-техн. конф. «Зеркальные антенны с электрическим сканированием луча». Свердловск: Изд-во УПИ им. С. М. Кирова, 2–4 февраля 1981, с. 1–8.
2. Кинбер Б. Е., Классен В. И., Шишлов А. В. Границы применимости ГО-подхода к синтезу облучателя параболической антенны. – В кн.: Волны и дифракция. М.: ИРЭ АН СССР, 1981, т. 1, с. 97–100.
3. Алимova Л. И., Кинбер Б. Е., Классен В. И., Шишлов А. В. Радиотехника и электроника, 1981, т. 26, № 12, с. 2500–2510.
4. Кинбер Б. Е., Классен В. И., Тоболев А. К., Шишлов А. В. Экспериментальная проверка возможности отклонения луча гибридной зеркальной антенны на большие углы. – В кн.: Машинное проектирование устройств и систем СВЧ. М.: МИРЭА, 1982, с. 37–41.
5. Фрадин А. З., Рыжков Е. В. Измерения параметров антенно-фидерных устройств. М.: Связь, 1972.
6. Кинбер Б. Е. О погрешности восстановления диаграммы направленности по измерениям ближнего поля на ограниченном участке апертуры. – Тез. докл. III Всесоюз. совещания – семинара «Метрология в радиоэлектронике». М.: ВНИИФТРИ, 1975, с. 165–166.

Поступила в редакцию
26.V.1983