

УДК 520.272.2:520.36

РТ-70 — ЭЛЕМЕНТ ИНТЕРФЕРОМЕТРА

*А. М. Асланян, В. А. Гришмановский, А. Г. Гулян, С. П. Игнатов,
В. И. Костенко, Б. З. Каевский, А. Н. Козлов, Г. Д. Копелянский,
Л. И. Матвеенко, А. Х. Папащенко, Р. М. Мартиросян, Е. П. Молотов,
И. А. Струков, В. Б. Тарасов, В. В. Тимофеев*

Приведены основные параметры Евпаторийского радиотелескопа с полноповоротным рефлектором диаметром 70 м на волнах 1,35 см и 18 см. Этот телескоп входит в радиоинтерферометрическую сеть Симеиз — Евпатория — Пущино.

В настоящее время сверхдальняя радиоинтерферометрия получила широкое применение при решении как астрофизических, так и прикладных задач. Для развития данного направления создается отечественная радиоинтерференционная сеть на основе действующих крупных антенн. Одной из наиболее совершенных антенн является антенна Центра дальней космической связи, расположенная вблизи Евпатории [1]. Высокая точность изготовления поверхности зеркала и гомологичность его конструкции обеспечивают возможность использования антennы до самых коротких волн сантиметрового диапазона. Антenna оснащена комплексом аппаратуры интерферометра с независимой регистрацией сигналов на волнах 1,35 и 18 см. Ниже рассмотрены параметры элемента интерферометра со сверхдлинной базой, созданного на основе этой антennы.

Основными требованиями к элементу интерферометра являются: высокая чувствительность, т. е. максимально возможная эффективная площадь антennы при минимальной шумовой температуре системы, высокая точность наведения и сопровождения, сохранение электрических параметров инструмента и их контроль, высокая стабильность фазы регистрируемых сигналов.

Комплекс аппаратуры состоит из облучателей с направленными ответителями и поляризаторами левой (правой) круговой поляризации, радиометров компенсационного типа с охлаждаемыми малошумящими усилителями, системы когерентного преобразования сигнала и регистрирующих устройств на магнитной ленте. Сигналы первого гетеродина на волне 18 см формируются путем умножения опорной частоты 5 МГц, а на волне 1,35 см — путем захвата по фазе клистронного генератора. В качестве опорного генератора используются рубидиевый (Ч1-69) или водородный (Ч1-70) стандарты частоты. Схема преобразования промежуточной частоты 140—170 МГц в видеосигнал выполнена в соответствии с международным стандартом Марк-II и позволяет независимо получать на выходе сигнал в верхней и нижней видеополосах шириной от 2 МГц до 15 КГц. Это позволяет проводить интерферометрические наблюдения на разнесенных частотах для решения задач навигации космических аппаратов. После клиппирования и кодирования сигнал поступает на магнитное регистрирующее устройство, выполненное на основе кассетного видеомагнитофона.

Антenna представляет собой 70-метровое зеркало квазипарabolической формы, установленное на азимутально-угломестном поворотном устройстве. Облучение выполняется по схеме Грегори. Вторичное зеркало квазиэллиптической формы имеет диаметр 7 м и видно из вто-

ричного фокуса под углом 60° . Антenna имеет автоматическую систему компенсации фазовых искажений, обусловленных весовыми деформациями зеркальной системы.

Скалярные облучатели выполнены в виде идентичных конических рупоров с кольцевыми канавками, перпендикулярными внутренней боковой стенке. Угол при вершине конуса равен 60° . Рупор на волну 1,35 см выточен из латуни и покрыт серебром. Входная часть рупора 18 см выточена из алюминия, а остальная сварена из алюминиевого листа (рис. 1). Для повышения широкополосности глубина внутренних канавок рупора уменьшается в направлении раскрыва по эмпирическому закону [2].

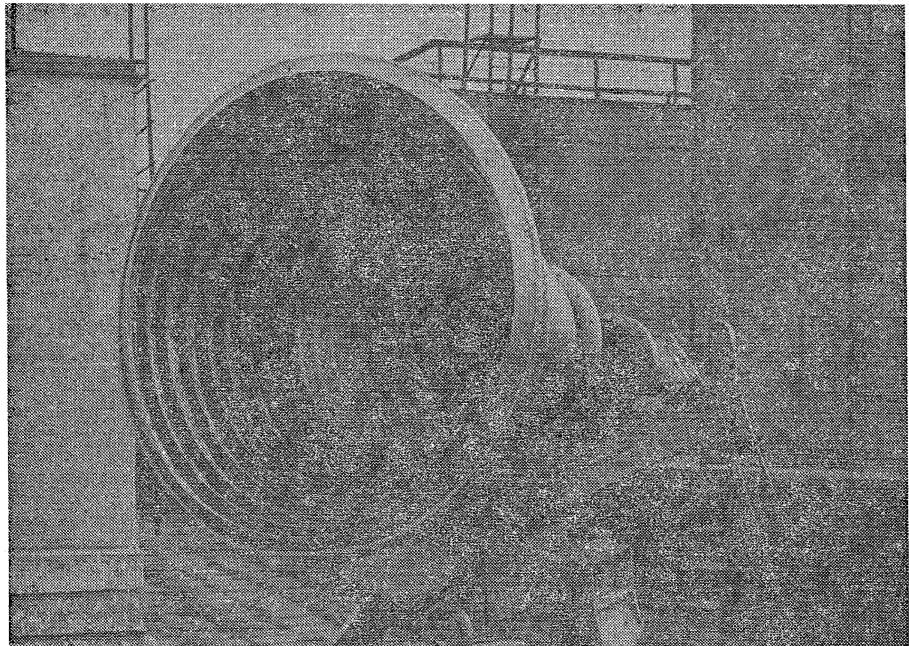


Рис. 1. Общий вид скалярного рупора на волну 18 см для двухзеркальной схемы облучения антенны РТ-70.

В связи с изменением позиционных углов источника при наблюдениях на далеко разнесенных антенах с азимутально-угломестной монтировкой сигналы принимаются в круговых поляризациях. Поляризаторы изготовлены в виде эллиптических волноводов, ориентированных под углом 45° относительно входного прямоугольного волновода. Коэффициент эллиптичности поляризаторов выше 0,9, а его согласование КСВ $< 1,05$ в диапазоне изменения частот порядка 10%. Потери в поляризаторах практически отсутствуют. Для снижения потерь волноводного тракта на волне 1,35 см поляризатор, направленный ответвитель и соединяющий волновод выполнены в виде единого целого.

Ширины диаграмм направленности облучателей равны 60° по уровню 20—21 дБ и 40° по уровню 10 дБ (рис. 2), что обеспечивает оптимальное облучение антенны — максимальную эффективную площадь при минимальной шумовой температуре. Уровень боковых лепестков облучателей ниже 30 дБ.

Определение шумовой температуры радиотелескопа проводилось по согласованной нагрузке волноводного (на волне 1,35 см) и коаксиального типа (на волне 18 см). Температура нагрузок менялась от комнатной до температуры жидкого азота. В случае жидкого азота шумовая температура нагрузки коаксиального типа равнялась 82 К. В ходе наблюдений калибровка осуществлялась по сигналу шумового генератора, подаваемому через направленный ответвитель на вход

малошумящего усилителя. Для этой цели на волне 1,35 см используется газоразрядная трубка, а на 18 см — полупроводниковый шумовой генератор.

Шумовые температуры антennы на волнах 18 и 1,35 см равны соответственно 8 и 9 К.

Изменение шумовой температуры системы от угла места на волнах 1,35 и 18 см показано на рис. 3. На волне 18 см низкая шумовая температура системы сохраняется вплоть до углов места порядка 10°, после чего начинает возрастать как из-за вклада шумов Земли, так и поглощения в атмосфере.

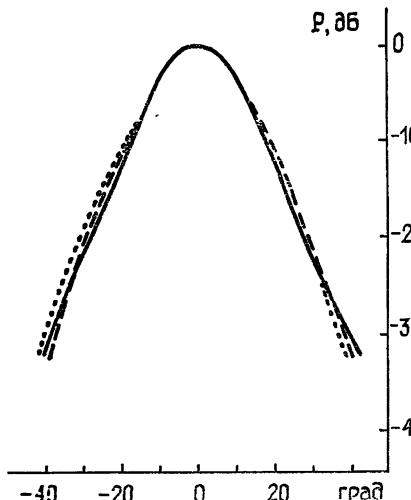


Рис. 2.

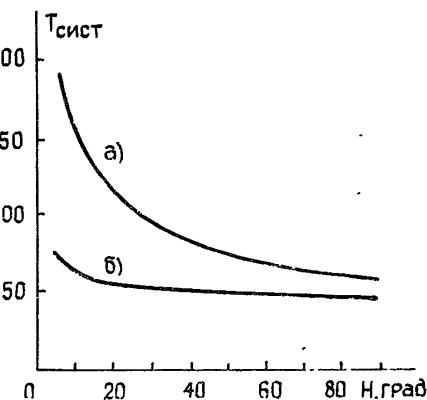


Рис. 3.

Рис. 2. Диаграмма направленности рупора на волну 18 см:

плоскость E — сплошная линия, плоскость H — точки, левая круговая поляризация — пунктир.

Рис. 3. Зависимость шумовой температуры системы ($T_{\text{системы}}$) от угла места на волнах 1,35 см (а) и 18 см (б).

Шумовая температура системы в направлении зенита на волне 1,35 см (табл. 1) в ясную погоду составляет около 60 К и складывается из шумов атмосферы $T(\text{атм}) \approx 20$ К, антенны $T(A) \approx 15$ К (включая волноводный тракт) и шумовой температуры радиометра с малошумящим усилителем мазерного типа $T(\text{рад}) \approx 27$ К.

На волне 18 см шумовая температура системы в направлении зенита $T_{\text{системы}} \approx 50$ К, причем на сам радиометр с охлаждаемым до температуры жидкого азота параметрическим усилителем (ПУ) приходится ≈ 28 К (табл. 1) (в том числе на входной тракт ≈ 15 К, камеру ПУ ≈ 10 К; шумовой вклад последующих каскадов ≈ 3 К).

Настройка антennы, снятие диаграммы направленности, определение эффективной площади осуществлялись по интенсивным источникам космического радиоизлучения, угловые размеры которых меньше главного лепестка диаграммы направленности антennы (ЗС345, ЗС286, ЗС147, ЗС84 и планета Венера). Эффективные площади антennы оказались равными 1480 ± 180 и $2730 \pm 130 \text{ м}^2$ на волнах 1,35 и 18 см

Таблица 1

Измеряемый параметр	$\lambda, \text{см}$	
	1,35	18
Шумовая температура, К		
атмосферы	20	3
антennы	8	9
тракта	7	7
радиометра	27	28
системы	62	47
Коэффициент использования поверхности (КИП)	0,38	0,71 (0,57)*

* В скобках приведено значение КИП с ПЗС.

соответственно, а коэффициенты использования поверхности КИП = =0,38 и 0,71.

Исследования диаграммы направленности антенны на волне 1,35 см проводились по вспышке мазерного излучения в линии водяного пара в источнике ORION KL. Плотность потока ее радиоизлучения превышала 10^6 Ян, а ширина профиля линии $\Delta f \simeq 30$ КГц, что позволило детально изучить дальние боковые лепестки диаграммы направленности антенны по уровню ниже -50 дБ на расстояниях до $26\theta_a$, где θ_a — ширина диаграммы направленности по уровню половинной мощности. Односторонний разрез диаграммы направленности по углу места приведен на рис. 4а. Глубокие минимумы свидетельствуют о высокой точности юстировки и изготовления отражающих щитов и работы системы компенсации фазовых искажений поверхности зеркала. Ширина диаграммы направленности антенны на волне 1,35 см по уровню 3 дБ равна $\theta_H = 43'' \pm 0,5''$ и $\theta_a = 38'' \pm 0,5''$ по углу места и азимуту соответственно. На углах места $H < 20^\circ$ наблюдается некоторое уширение диаграммы направленности и ее асимметрия в угломестной плоскости, что может быть объяснено небольшой деформацией несущей конструкции. Уровень ближних боковых лепестков не превышает 10%. На волне 18 см диаграмма направленности антенны была снята в двух измерениях по радиоисточнику Лебедь-А (рис. 4б). Ширина диаграммы направленности по уровню 3 дБ в обеих плоскостях совпадает с точностью до ошибок измерения и равна $\theta_a = 10,0' \pm 0,2'$. Уровень первых боковых лепестков со-

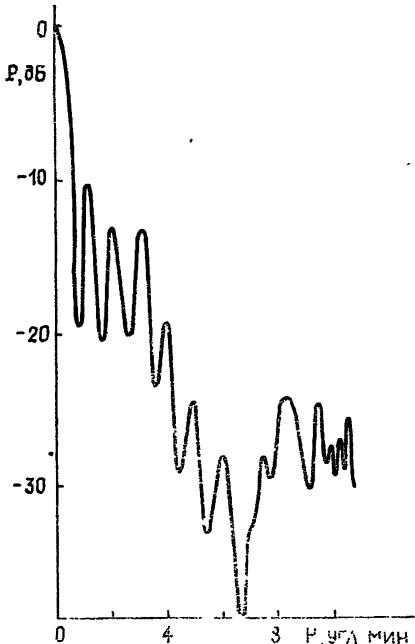


Рис. 4а. Односторонняя диаграмма направленности антенны РТ-70 на волне 1,35 см в угломестной плоскости, логарифмический масштаб (дБ).

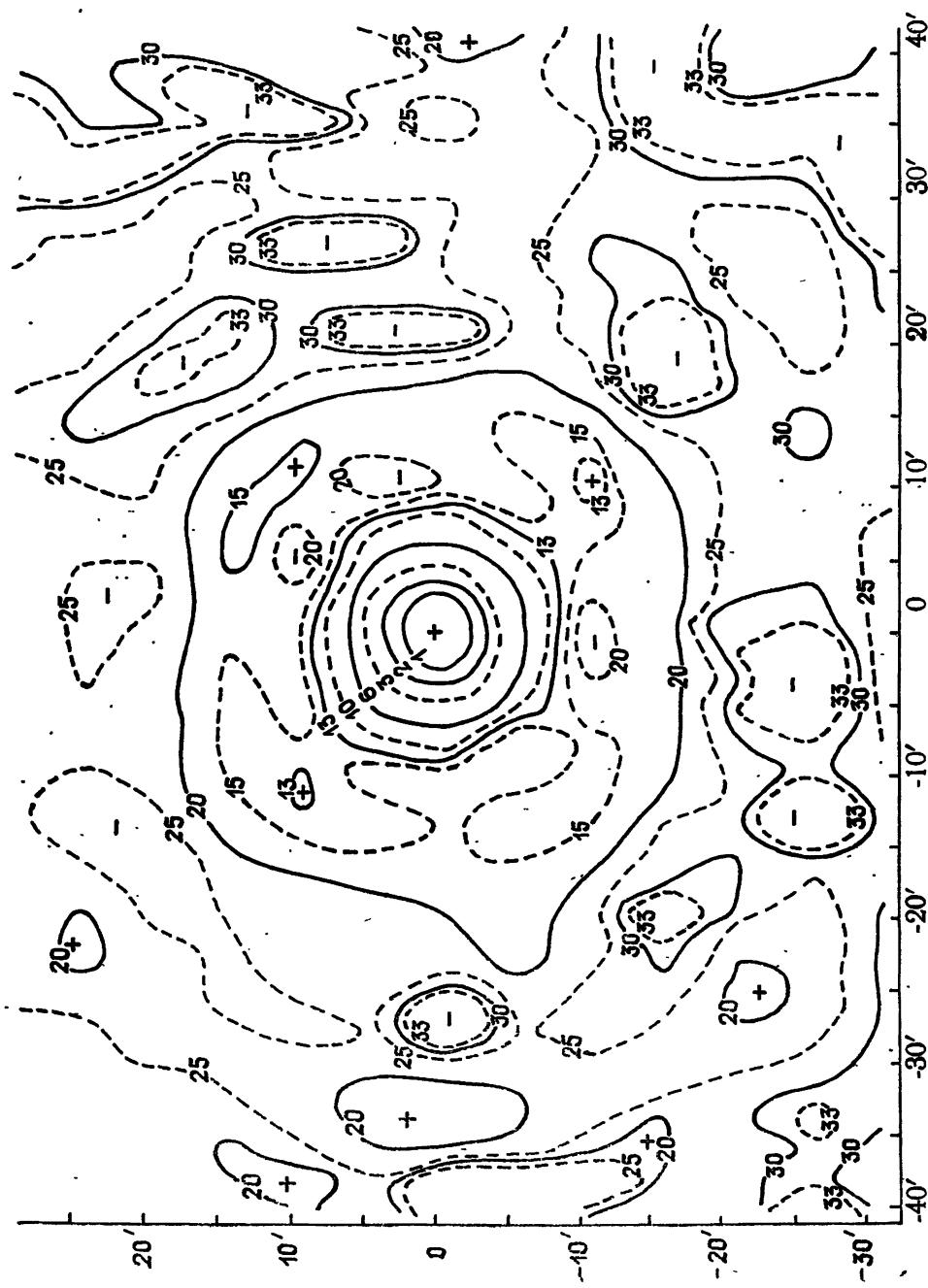
ставляет менее 13 дБ, они концентрируются во взаимно перпендикулярных плоскостях под углом около $\pm 45^\circ$ к вертикали, что определяется затенением от несущих опор контрефлектора. Изменение диаграммы направленности в зависимости от угла места не наблюдается.

В настоящее время для повышения оперативности использования антенны в различных диапазонах волн она снабжена шестью стационарными облучателями, расположенными по кругу относительно оси симметрии антенны, а между фазовым центром любого из шести облучателей и вторичным фокусом антенны располагается подвижная двухзеркальная облучающая система (ПЗС), преобразующая широкоугольную диаграмму направленности облучателя в диаграмму направленности, необходимую для эффективного облучения зеркальной системы из ее вторичного фокуса. Эффективная площадь антенны в этом случае равна $2180 \pm 110 \text{ м}^2$ на волне 18 см, а коэффициент использования поверхности — КИП = 0,57.

Флуктуационная чувствительность радиотелескопа по потоку составляет $\delta F = 10 \text{ мЯн}$ при полосе регистрации сигнала $\Delta f = 20 \text{ МГц}$ и времени накопления $\tau = 1 \text{ с}$, а по шумовой температуре $\delta T_a = 10 \text{ мК}$. Соответствующие величины на волне 1,35 см равны $\delta F = 25 \text{ мЯн}$ и $\delta T_a = 13 \text{ мК}$.

Для иллюстрации на рис. 5а, б показаны записи квазара P1633+38 на волне 18 см в узкой ($\Delta f = 250 \text{ КГц}$) и широкой ($\Delta f = 20 \text{ МГц}$) полосах регистрации сигнала. Из рисунка видно, что при

Рис. 46. Двумерная диаграмма направленности антенны РГ-70 на волне 18 см, линии уровней проведены в децибелах относительно максимума.



таком значении плотности потока флюктуации в широкой полосе практически не видны.

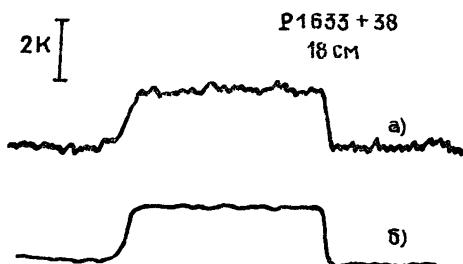


Рис. 5. Приращение сигнала от квазара P1633+38 на волне 18 см в узкой (а) и широкой (б) полосах пропускания радиометра.

Измерения источника излучения OH 40.62 — 0.14 в линии гидроксила на волне 18 см с разрешением $\Delta f = 2,25$ КГц и временем накопления $\tau = 20$ с (рис. 6) показали, что в этом случае чувствительность по потоку и температуре составляют соответственно $\delta F = 400$ мЯн и $\delta T_a = 350$ мК.

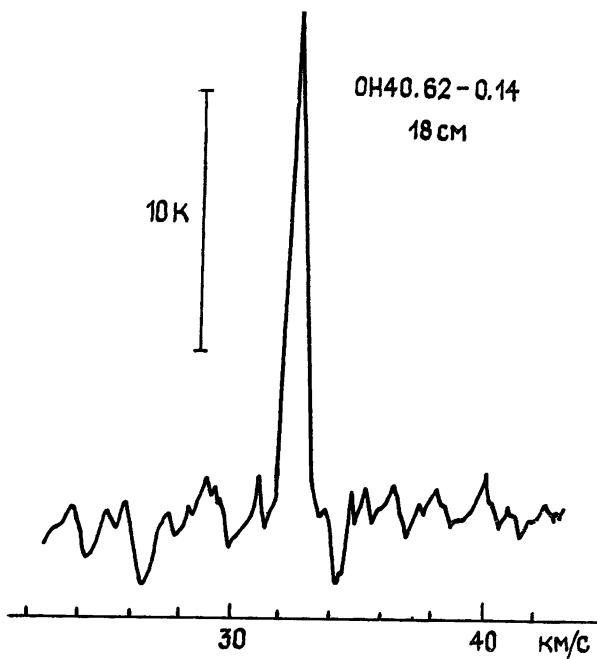


Рис. 6 Спектр источника OH 40.62 — 0.14 в линии 1665,4 МГц, полученный 25.04.84 г. на антенне РТ-70. Разрешение по лучевой скорости около 0,4 км/с (2,25 КГц по частоте). Время интегрирования 20 с. Слева вертикальной чертой указан масштаб антенной температуры в кельвинах.

В настоящее время элемент интерферометра на базе антенны РТ-70 входит в радиоинтерференционную сеть Симеиз — Евпатория — Пущино [3], которая использовалась в 1985 г. для измерений координат и скорости аэростатного зонда в атмосфере планеты Венера (проект «Венера — Галлэй»). Чувствительность элемента РТ-70 позволяет принимать сигнал бортового излучателя с полосой 1 Гц мощностью примерно 8 Вт на расстоянии порядка 10^8 км с соотношением сигнал / шум, эквивалентным приведенному на рис. 6.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность коллективам организаций, оказавшим большую помощь на всех этапах выполнения работ по вводу в строй пункта интерферометра на базе антенны РТ-70.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов А. Н., Гришмановский В. А., Тарасов В. Б., Сергеев Б. Г.—
В сб.: Антенны. — М.: Радио и связь, 1984, вып. 31, с. 17.
2. Thomas B. Masa. — IEEE, 1978, AP-26, p. 367.
3. Матвеенко Л. И. и др. — Письма Астрон. журн., 1983, № 7, с. 415.

Институт космических исследований
АН СССР

Поступила в редакцию
27 мая 1985 г.,
после доработки
18 июля 1986 г.

RT-70-ELEMENT OF RADIOINTERFEROMETER NETWORK

*A. M. Aslanjan, V. A. Grishmanovskij, A. G. Guljan, S. P. Ignatov, V. I. Kostenko,
B. Z. Kaneuskij, A. N. Koslov, G. D. Kopeljanskij, L. I. Matveenko, A. Kh. Papatsenko,
R. M. Martirosjan, E. P. Molotov, I. A. Strukov, V. B. Tarasov, V. V. Timofeev*

The main parameters at 1.35 cm and 18 cm wavelength of the radiotelescope with 70-m full steerable reflector near Evpatoria are described. This radiotelescope is a member of the Symeis — Evpatoria — Pushchino radiointerferometer network.

ИНФОРМАЦИЯ

«ГЕОМАГНЕТИЗМ И АЭРОНОМИЯ», т. XXVI, № 6, 1986 г.

Аннотации статей, представляющих интерес для читателей «Радиофизики»

Абызов А. С. Формирование нелинейных магнитозвуковых волн в ионосфере.

Рассмотрены нелинейные магнитозвуковые волны, распространяющиеся в области $F2$ ионосферы. Получены условия формирования уединенной волны типа солитона огибающей.

Минкин А. С., Фаткуллин М. Н. Об инициировании двухпотоковой неустойчивости в ионосфере электрическими полями грозовых разрядов.

В квазигидродинамическом приближении изучается влияние электрических полей грозовых разрядов на динамику заряженных частиц в ионосфере. Показана возможность инициирования в ионосфере на высотах области E электрическими полями грозовых разрядов двухпотоковой (токовой) неустойчивости.

Бичуч Е. И. Спектры амплитудно-частотных характеристик радиосигналов, отраженных от слоя E при вертикальном зондировании ионосферы.

Получены экспериментальные спектры АЧХ отраженных от слоя E радиосигналов и модельные спектры АЧХ, построенные теоретически для моделей однородного и неоднородного слоев E . Показана возможность определения внутренней структуры области E путем сравнительного анализа экспериментальных и модельных спектров АЧХ.

(Окончание см. с. 346)