

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ ЮЖНОГО СЕКТОРА РАТАН-600 С ПЕРИСКОПИЧЕСКИМ ЗЕРКАЛОМ

А. В. Темирова

Приводятся результаты исследования диаграмм направленности Южного сектора с перископическим зеркалом с облучателем, расположенным как в фокусе антенны, так и при различных его поперечных выносах из фокуса. Измерения проводились по радиоизлучению ярких точечных источников. Проведено сравнение экспериментальных данных с расчетными.

The results of experimental research of the RATAN's patterns at the different transverse shifts of the primary feed from focus antenna are discussed. Measurement of patterns was carried out using radiation of the intense point sources. The measured patterns were compared with calculated ones.

В статье излагаются результаты экспериментального исследования характеристик Южного сектора с перископическим зеркалом. Остановимся поэтому на некоторых особенностях его работы. В системе Южный сектор с перископическим зеркалом при наблюдении в режиме прохождения источников с различными склонениями основной отражатель радиотелескопа остается неподвижным. Меняется только угол наклона щита плоского зеркала относительно горизонтальной оси. В этом случае горизонтальная диаграмма направленности (д. н.) радиотелескопа РАТАН-600 определяется поверхностью основного зеркала (параболического цилиндра с вертикальной образующей), а вертикальная д. н. — перископической системой, т. е. проекцией щита плоского отражателя на вертикаль [1]. Вследствие этого ширина горизонтальной д. н. не меняется при изменении высоты источника h или угла наблюдения θ_0 , а ширина вертикальной д. н. меняется в небольших пределах. Кроме того, вторичное зеркало экранирует часть отражающей поверхности кругового отражателя (эффект затенения). Это приводит к тому, что в горизонтальной д. н. всегда будут присутствовать боковые лепестки, обусловленные размером экранируемой части отражающей поверхности [2]. Наблюдения на радиотелескопе РАТАН-600 обычно проводятся в режиме прохождения на нескольких длинах волн одновременно. При этом ряд первичных облучателей оказывается вынесенным из фокуса антенны, что приводит к возникновению аберраций нечетных степеней типа «комы» [3, 4].

Диаграммы направленности радиотелескопа РАТАН-600 при наблюдении на горизонте рассчитывались разными способами [5—7]. Расчетные д. н., полученные этими способами, близки друг к другу: основной лепесток совпадает, однако заметно различие в величине и положении боковых лепестков, что связано с неточным знанием амплитудного распределения в раскрыве антенны и учетом эффекта затенения. В ряде астрофизических задач требуется точное знание как основного, так и боковых лепестков д. н. радиотелескопа, поэтому представляет большой интерес экспериментальное исследование д. н. Южного сектора с плоским отражателем и сравнение их с расчетными. Такое сравнение позволит определить, какими расчетными методами можно пользоваться.

Диаграммы направленности можно исследовать различными способами [8—11], но для больших антенн типа антенны переменного профиля удобно воспользоваться методом измерения д. н. по радиоизлучению ярких точечных космических источников [9]. В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования д. н. системы Южного сектора с плоским отражате-

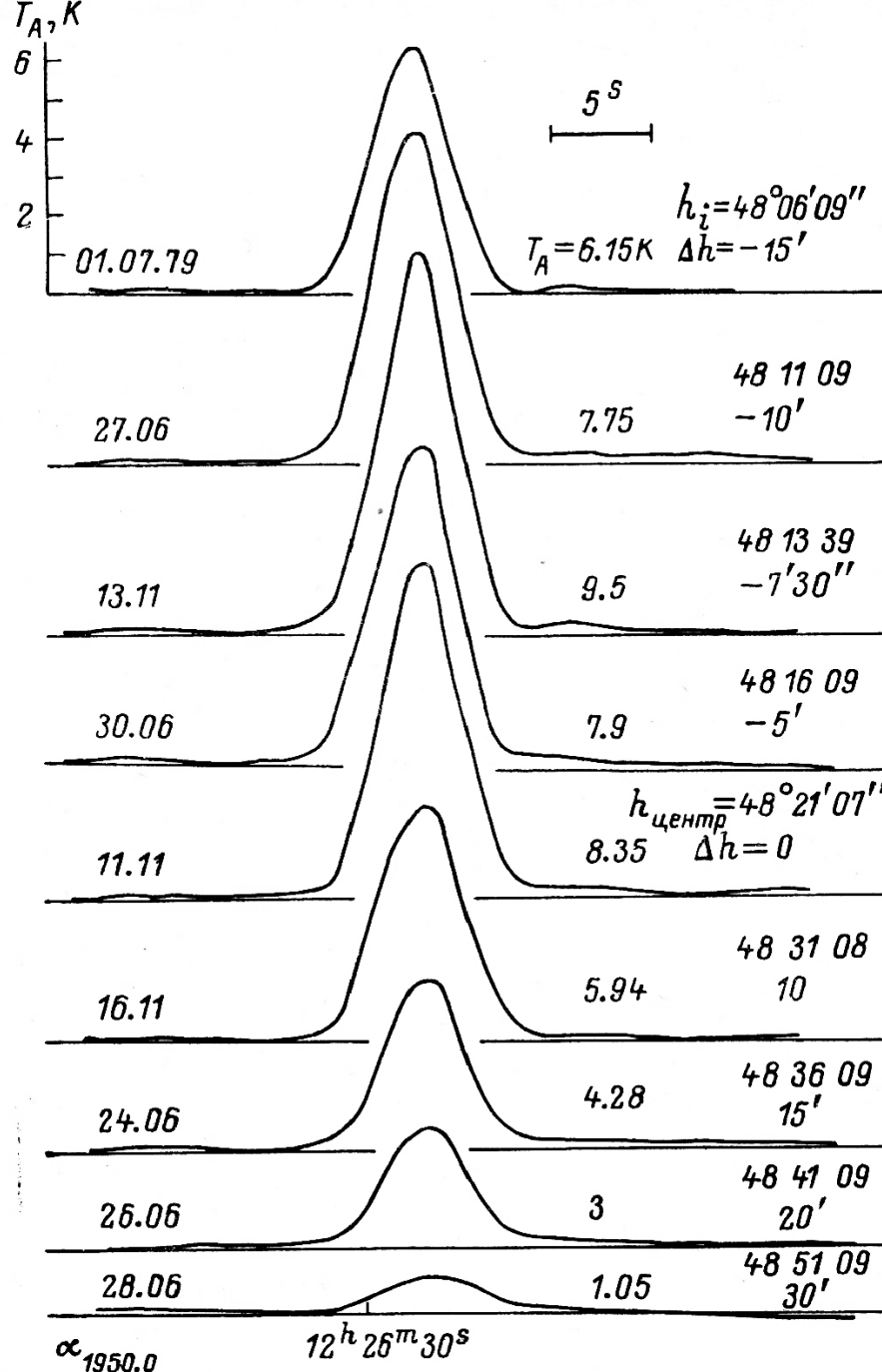


Рис. 1. Кривые прохождения источника ЗС 273 на волне $\lambda = 8.2$ см в различных горизонтальных сечениях h_i (постоянная времени $\tau = 0.2$ с, калибровка производилась с помощью генератора шума ГШ-1.05 К.

Все кривые нормированы относительно кривой в центральном сечении.

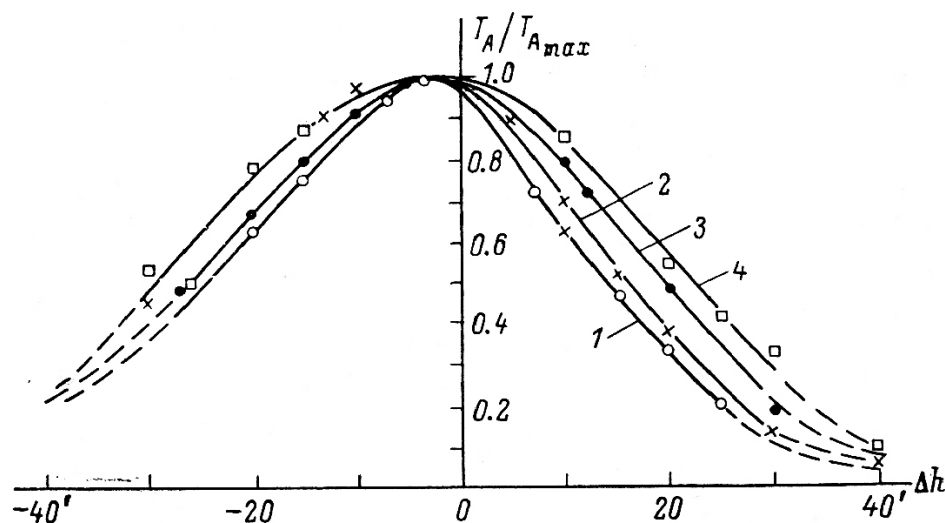


Рис. 2. Вертикальные д. н. Южного сектора РАТАН-600 с плоским отражателем, измеренные по радиоизлучению дискретных источников на волне $\lambda = 8.2$ см.

1 — PKS 1830-21 ($h \approx 25^\circ$); 2 — ЗС 273 ($h \approx 48^\circ$); 3 — ЗС 84 ($h \approx 87^\circ$); 4 — ДА-251 ($h \approx 78^\circ$ к северу от зенита).

лем на разных длинах волн при различных поперечных выносах первичного облучателя из фокуса антенны. Проведено также сравнение экспериментальных данных с расчетными.

а) Исследование д. н. Южного сектора с плоским отражателем проводилось летом и осенью 1979 г. по наблюдениям достаточно ярких точечных внегалактических источников с различными склонениями: PKS-1830-21 ($h \approx 25^\circ$), 3C 273 ($h \approx 48^\circ$), 3C 84 ($h \approx 87^\circ$), ДА-251 ($h \approx 78^\circ$ к северу от зенита). Такой выбор источников позволил перекрыть весь наблюдаемый диапазон высот. Диаграммы измерялись на нескольких волнах одновременно ($\lambda = 2.08, 3.9, 8.2, 13$ и 31 см). В фокусе антенны устанавливался облучатель на волну $\lambda = 8.2$ см. Для этой волны все наблюдаемые источники являются практически точечными, что поз-

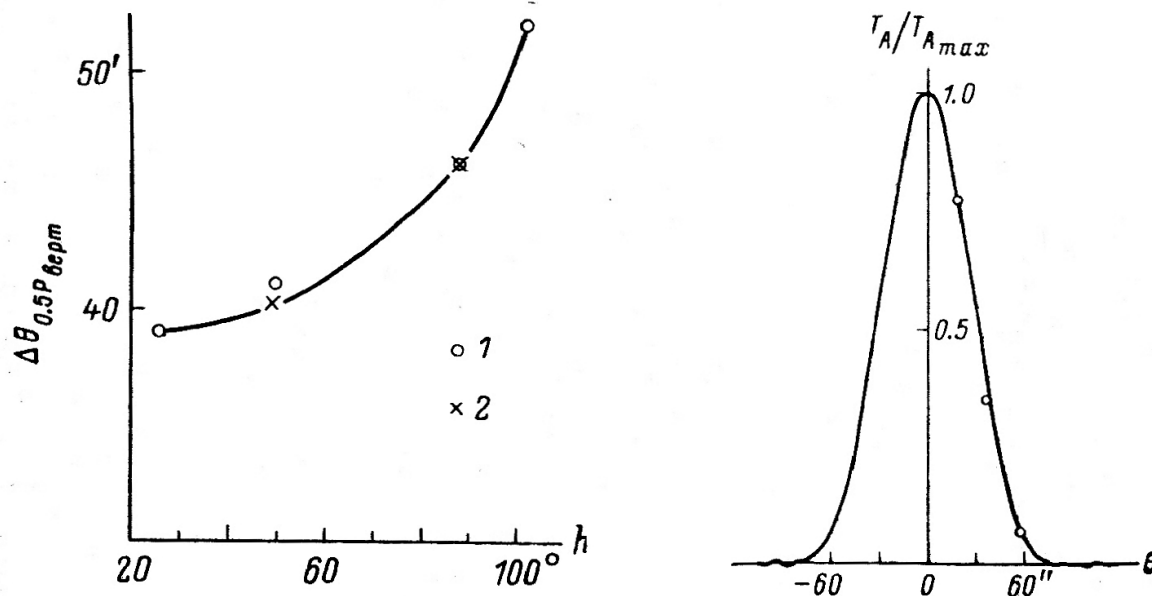


Рис. 3. Зависимость ширины вертикальной д. н. по уровню $0.5P$ от высоты источника на волне $\lambda = 8.2$ см.

1 — расчетные, 2 — экспериментальные точки.

Рис. 4. Горизонтальная д. н. Южного сектора с плоским отражателем на волне $\lambda = 8.2$ см, измеренная по наблюдениям источника 3C 273.

Нанесены расчетные точки.

воляет проводить сравнение этих диаграмм с расчетными значениями. Остальные облучатели оказались вынесенными из фокуса на различные расстояния, что позволило измерить абберрационные диаграммы антенны при наблюдении на горизонте.

Наблюдения проводились после юстировки Южного сектора с плоским отражателем, выполненной в мае 1979 г. Плоское зеркало было отъюстировано геодезическим методом,* а основное зеркало (параболический цилиндр) — автоколлимационным.** Фокус антенны (положение первичного облучателя) как в поперечном, так и в продольном направлении был найден с помощью автоколлимационного метода.

Во время всего цикла наблюдений антенна была выставлена следующим образом: щиты основного зеркала размером 2×7.4 м Южного сектора стояли с № 270 по № 337 и с № 343 по № 408. В центре основного отражателя 5 щитов (№ 338—343) не выставлялись, так как эти щиты не облучаются вследствие эффекта затенения. Щиты плоского отражателя размером 3.1×8.5 м стояли с № 18 по № 106, в центре плоского отражателя в силу его конструктивных особенностей всегда три щита отсутствуют. В течение всех измерений основное зеркало Южного сектора оставалось неподвижным, менялся лишь угол наклона плоского зеркала и проверялось качество его установки, при этом число «отказов», т. е. количество невыставленных щитов не превышало 2 и, как правило, по краям перископа.

* Юстировка проводилась Ю. К. Зверевым.

** Юстировка проводилась Г. А. Пинчуком.

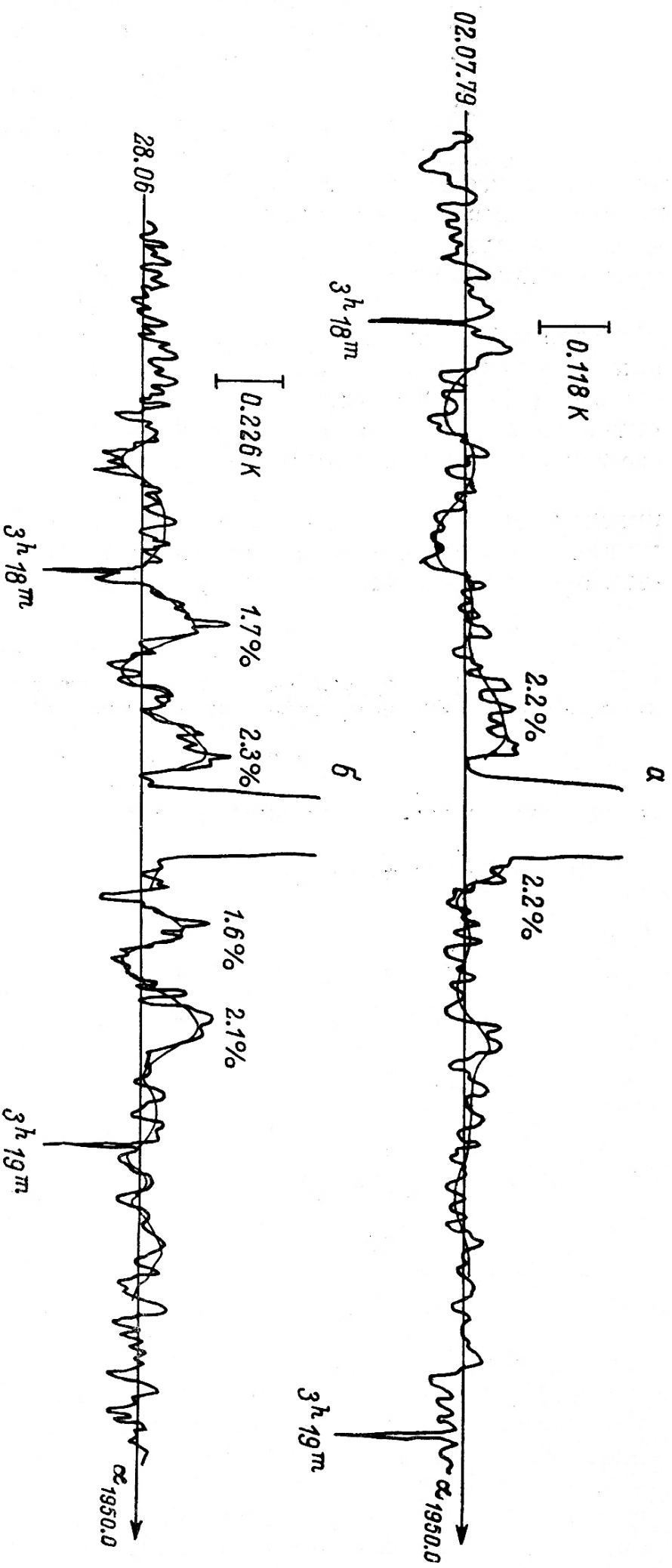


Рис. 5. Кривые прохождения источника ЗС 84 в центральном сечении на волнах $\lambda=2.08$ см (а) и $\lambda=3.9$ см (б) (постоянная времени $\tau=0.84$).
Центральная часть источника бланкирована.

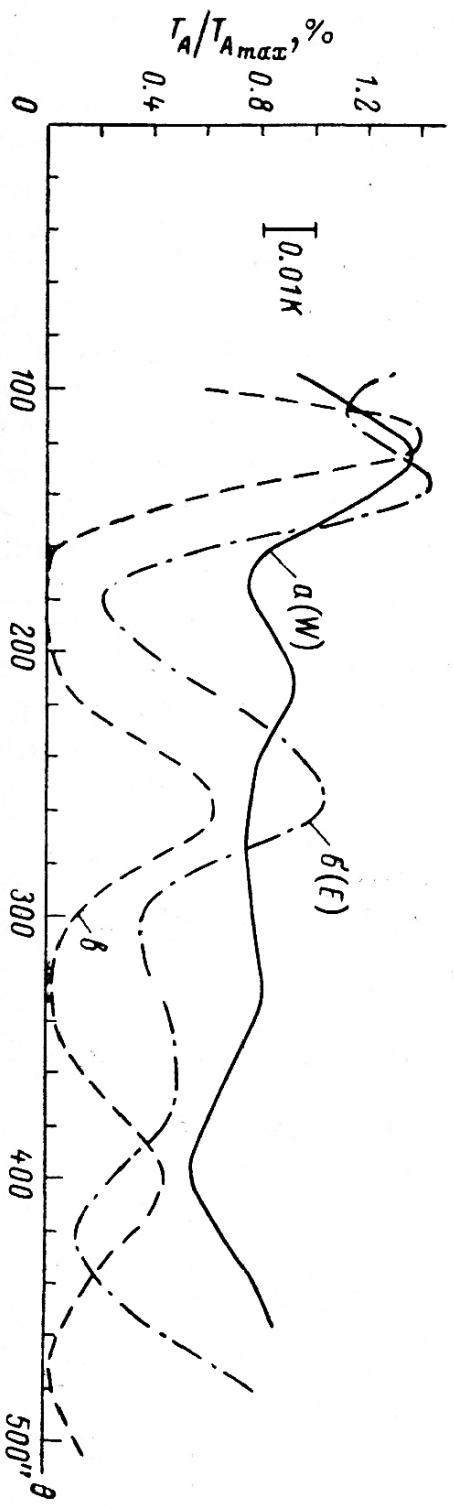


Рис. 6. Кривая прохождения радиоисточника ЗС 273, осредненная по трем лучшим записям на волне $\lambda=7.6$ см.

а — западная часть кривой (W);
б — восточная часть (E). Центральная часть источника бланкирована; в — расчетная горизонтальная Д. И. на волне $\lambda=7.6$ см.

б) Рассмотрим вначале результаты измерения вертикальной д. н. Для определения вертикальной д. н. радиотелескопа на заданной высоте источника h были проведены наблюдения в нескольких горизонтальных сечениях $h_i = h_{\text{ц}} - \Delta h$. Кривые прохождения источника ЗС 273 в различных горизонтальных сечениях приведены на рис. 1. На рис. 2 построены вертикальные д. н. на волне $\lambda = 8.2$ см для разных высот источников. Из рис. 2 видно, что наблюдается смещение максимума измеренных диаграмм на всех высотах в сторону меньших высот примерно на $3'$. На рис. 3 приведена зависимость ширины д. н. по уровню половинной мощности ($\Delta\theta_{0.5P_{\text{верт}}}$) от высоты источника. Незначительное увеличение $\Delta\theta_{0.5P_{\text{верт}}}$ от 39 до $52'$ с ростом h объясняется уменьшением проекции щита плоского отражателя на вертикаль $H_{\text{пл}} \cos(h/2)$. Здесь же для сравнения нанесены расчетные величины $\Delta\theta_{0.5P_{\text{верт}}}$, определяемые как $\Delta\theta_{0.5P_{\text{верт}}} \approx \lambda/k_1 H_{\text{пл}} \cos(h/2)$. Величина коэффициента k_1 выбиралась в зависимости от амплитудного распределения поля по высоте щита плоского отражателя. Как видно из рис. 3, расчетные и экспериментальные данные хорошо согласуются друг с другом.

В 1978 г. была измерена вертикальная д. н. Южного сектора с плоским отражателем на волне $\lambda = 3.4$ см по опорному источнику ЗС 273.* Ее ширина по уровню $0.5P$ составила $22'$. Измеренная нами ширина диаграммы $\Delta\theta_{0.5P_{\text{верт}}}$ по этому источнику на волне $\lambda = 8.2$ см равна $40'$. Если пересчитать ширину вертикальной д. н. с волны $\lambda = 3.4$ см на волну $\lambda = 8.2$ см, то получается величина $51.5'$. Расхождение между пересчитанной и измеренной на $\lambda = 8.2$ см величиной ширины вертикальной д. н. объясняется тем, что с увеличением длины волны облучение антенны становится более равномерным по вертикали из-за эффекта перископичности.

в) Горизонтальная диаграмма направленности южного сектора с плоским зеркалом не зависит от высоты наблюдаемого источника. Ширина горизонтальной д. н. по уровню $0.5P$, измеренная на волне $\lambda = 8.2$ см, составляет $69'' \pm 2''$ (рис. 4), а на волнах $\lambda = 2.08, 3.9$ см — $20'' \pm 2''$ и $34'' \pm 2''$ соответственно. Эта ширина сохраняется и во всех горизонтальных сечениях h_i (рис. 1), так как пространственная диаграмма антенны имеет форму ножа. На рис. 4 нанесены также и расчетные точки [5], которые хорошо согласуются с экспериментальными.

Представляет большой интерес экспериментальное исследование боковых лепестков южного сектора с плоским зеркалом, определяющих возможность наблюдения слабых объектов вблизи сильных, т. е. динамический диапазон антенны. Как указывалось выше, характер близких боковых лепестков определяется в основном теневым эффектом. На рис. 5 представлены кривые прохождения источника ЗС 84 в центральном сечении на волнах $\lambda = 2.08$ и 3.9 см.** Из рисунка видно, что структура лепестков сложная. Величины максимальных лепестков на этих волнах совпадают и составляют 2.3% (-16.4 дБ по мощности). Однако для более детального исследования бокового излучения нужны приемники с большей чувствительностью. Поэтому зимой 1982 г. были проведены исследования близких боковых лепестков д. н. Южного сектора с плоским отражателем на волне $\lambda = 7.6$ см [12] с помощью высокочувствительного приемника [13]. Результаты этого исследования приведены ниже.

На рис. 6 изображена осредненная по трем лучшим записям кривая прохождения источника ЗС 273. Там же построена расчетная д. н. на волне $\lambda = 7.6$ см с учетом эффекта затенения [5]. Из сравнения приведенных кривых видно, что величины максимальных измеренных и расчетного лепестков совпадают и составляют соответственно: 1.35% (-18.7 дБ по мощности) для западной стороны кривой прохождения ЗС 273 (а), 1.43% (-18.4 дБ) для восточной (б) и 1.39% (-18.6 дБ) при расчете (в). Средний уровень измеренных боковых лепестков в области 0.5° от оси диаграммы равен -21 дБ, а расчетный -26.6 дБ. Однако заметно расхождение между формой и положением расчетных и измеренных боковых лепестков. Из рис. 6 видно также, что измеренные боковые лепестки с западной (W) и восточной (E) сторон несимметричны. При этом во время про-

* Эти наблюдения проводились В. Н. Боровик.

** Эти наблюдения проводились совместно с Н. С. Соболевой.

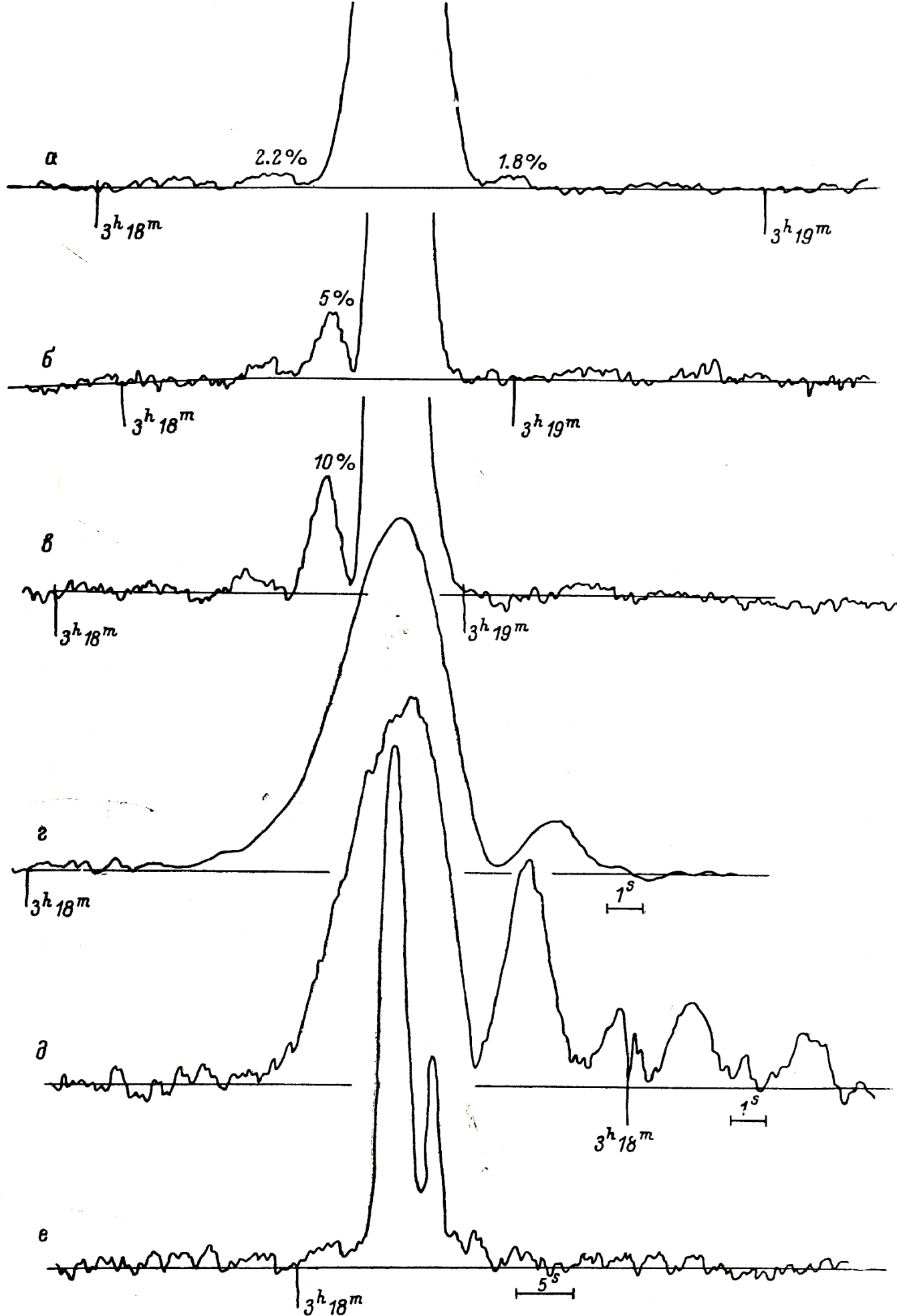


Рис. 7. Кривые прохождения источника 3С 84 при различных выносах облучателя y_0/λ .

	λ , см	Дата	y_0/λ	$T_{A \max}$, К	$T_{\text{кул}}^{\text{м}}$
а	8.2	19.06.79	0	8.8	$3h18m26s7$
б	8.2	28.06.79	1.6	8.3	3 18 42.3
в	8.2	26.02.79	2.2	7.25	3 18 50
г	3.9	19.06.79	3.3	9.1	3 17 53
д	2.08	19.06.79	11	2.3	3 17 53
е	2.08	08.06.80	6.5	3.4	3 18 08.8

ведения эксперимента наблюдалась хорошая повторяемость боковых лепестков день ото дня.

г) Характеристики Южного сектора с плоским зеркалом в случае различных поперечных выносов y_0/λ первичного облучателя из фокуса антенны измерялись в диапазоне волн λ от 2.08 до 31 см. Экспериментальные данные сравнивались с расчетными, полученными в [5] при $h=0^\circ$.

На рис. 7 приведены кривые прохождения источника ЗС 84 при различных выносах y_0/λ на волнах $\lambda=8.2$ см (а—в), $\lambda=3.9$ см (г), $\lambda=2.08$ см (д, е). Из рисунка видно, что при увеличении y_0/λ резко возрастает первый боковой лепесток, происходит смещение максимума главного лепестка, уменьшается поле в глав-

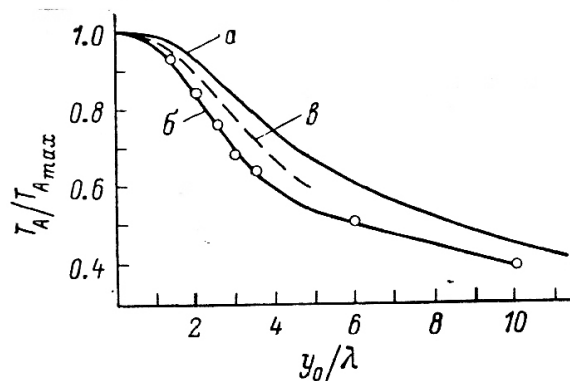


Рис. 8. Падение усиления принимаемого сигнала в зависимости от поперечного выноса облучателя y_0/λ (а), расчетная кривая (б) и аналогичная зависимость для Северного сектора $h \approx 10^\circ$ (в).

ном направлении. На рис. 8 построено падение усиления принимаемого сигнала в зависимости от выноса y_0/λ . Здесь же кружочками нанесены расчетные точки и аналогичная зависимость, полученная при наблюдениях на Северном секторе на низких углах ($h \approx 10^\circ$). Из рис. 8 видно, что вынос облучателя y_0/λ влияет больше на усиление расчетной кривой. Это связано с тем, что при расчете было выбрано более равномерное распределение поля на краю раскрыва антенны, где фазовая ошибка максимальна. На рис. 9—12 построены следующие зависимости:

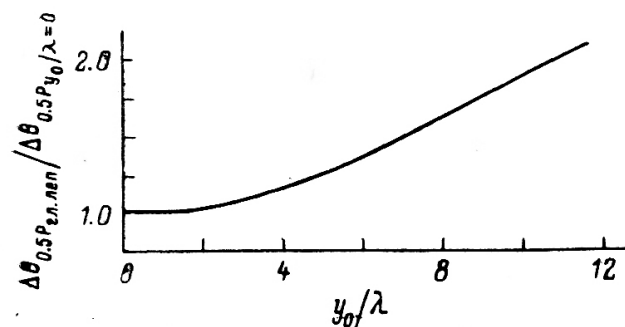


Рис. 9. Расширение главного лепестка д. н. в зависимости от выноса y_0/λ .

Ширина главного лепестка по уровню половинной мощности $\Delta\theta_{0.5 P_{гл. леп}}$ прономирована к ширине д. н. $\Delta\theta_{0.5 P_{гл. леп}}_{y_0/\lambda=0}$ при отсутствии выноса первичного облучателя из фокуса антенны.

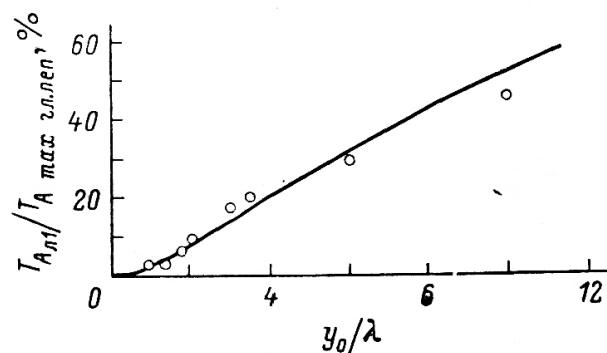


Рис. 10. Зависимость величины первого бокового лепестка от выноса y_0/λ .

Величина первого бокового лепестка, измеренная по антенной температуре T_{A1} , прономирована к главному лепестку $T_{A max гл. леп}$.

расширение главного лепестка, величины боковых лепестков, а также смещение максимума первого и второго лепестков в зависимости от выноса облучателя y_0/λ . Там же нанесены расчетные точки при $h=0^\circ$, которые хорошо согласуются с экспериментальными.

Таким образом, проведенное сравнение экспериментальных диаграмм Южного сектора с плоским отражателем показало следующее.

1. Экспериментальные характеристики в целом совпадают с расчетными. Однако при реализации динамического диапазона РАТАН-600 по антенной температуре более 30 дБ с помощью «чистки» по опорному объекту необходимо пользоваться экспериментальными диаграммами.

2. Аберрации Южного сектора с плоским отражателем близки к аберрациям Северного сектора при $h \approx 10^\circ$.

3. При наблюдениях на Южном секторе на волне $\lambda=8.2$ см сказывается эф-

эффект перископичности основного отражателя антенны переменного профиля, так как он находится в промежуточной зоне антенны.

4. При измерении вертикальной д. н. радиотелескопа на разных высотах отмечено смещение максимума диаграммы в сторону меньших высот.

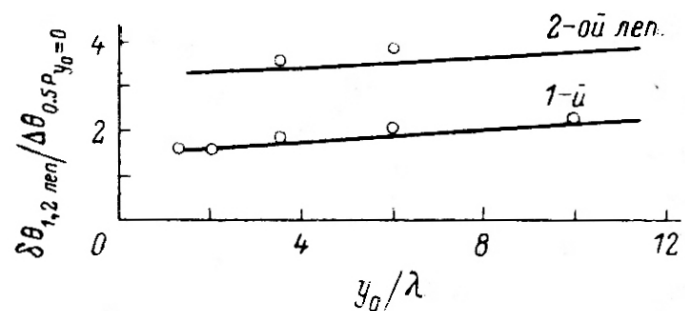
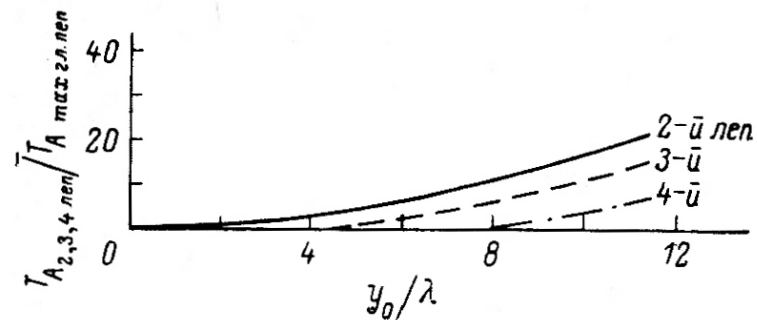


Рис. 11. Зависимость величин второго, третьего и четвертого боковых лепестков от выноса y_0/λ .

Рис. 12. Смещения максимума 1-го и 2-го боковых лепестков $\delta\theta$ в зависимости от y_0/λ .

В заключение автор выражает благодарность Н. А. Есепкиной и Н. С. Соболевой за проявленный интерес к работе, а Н. Е. Гольневой за помощь в обработке результатов наблюдений.

Литература

1. Гиндилис Л. М., Есепкина Н. А., Кардашов Н. С. О работе антенны переменного профиля с плоским перископическим отражателем. — Изв. ГАО, 1972, № 188, с. 54—57.
2. Антенны сантиметровых волн. М.: Сов. радио, 1950. 730 с.
3. Исследование характеристик излучения радиотелескопа РАТАН-600 методом оптического моделирования / Н. А. Есепкина, Б. А. Васильев, И. А. Водоватов и др. — Радиотехника и электроника, 1977, 22, № 7, с. 1484—1492.
4. Поляризационные характеристики радиотелескопа РАТАН-600 с учетом аббераций / Н. А. Есепкина, Н. С. Бахвалов, Б. А. Васильев и др. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1980, 12, с. 106—124.
5. Определение поляризационных характеристик радиотелескопа РАТАН-600 с учетом аббераций при наблюдении на горизонте / Н. А. Есепкина, Н. С. Бахвалов, Б. А. Васильев и др. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1982, 15, с. 151—160.
6. Гельфрейх Г. Б. Об одном алгоритме расчета диаграммы направленности антенны типа РАТАН-600 с учетом аббераций и поляризационных эффектов. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1977, 9, с. 89—98.
7. Коржавин А. Н. Диаграммы направленности антенны переменного профиля для реальных режимов работы. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1977, 9, с. 71—88.
8. Кузьмин А. Д., Саломонович А. Е. Радиоастрономические методы измерения параметров антенн. М.: Сов. радио, 1964. 182 с.
9. Парийский Ю. Н. Контроль параметров антенн по радиоастрономическим наблюдениям. — Изв. ГАО, 1972, № 188, с. 149—151.
10. Есепкина Н. А., Корольков Д. В., Парийский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры. М.: Наука, 1973. 415 с.
11. Цейтлин Н. М. Антенная техника и радиоастрономия. М.: Сов. радио, 1976. 229 с.
12. Соболева Н. С., Темирова А. В. К вопросу о «динамическом диапазоне» РАТАН-600. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1984, 18, с. 117—124.
13. Радиотелескоп РАТАН-600 в режиме низких собственных шумов / А. Б. Берлин, Л. Г. Гассанов, В. Я. Гольнев и др. — Радиотехника и электроника, 1982, XXVII, № 7, с. 1268—1273.

Поступила в редакцию 5 января 1983 г.