

Министерство высшего и среднего специального образования
РСФСР

Ордена Трудового Красного Знамени
Научно-исследовательский радиопизический институт (НИРФИ)

Препринт № 122

ВАНТОВЫЙ РАДИОТЕЛЕСКОП НИРФИ

И.В. Мосалов

Н.В. Бахарев

Н.А. Дугин

Н.М. Цейтлин

Горький - 1978 г.

А н н о т а ц и я

В настоящей работе рассматриваются принципы построения, особенности и возможности нового типа зеркальных антенн-легких конструкций с предварительно-напряженной вантово-стержневой пространственной структурой, предложенных в НИРФИ.

Приводятся результаты исследований параметров и эксплуатационных характеристик 12-метрового радиотелескопа РТВС-12 — первой антенны, созданной на новых принципах.

На основе опыта, полученного при проектировании и исследовании РТВС-12, оцениваются перспективы данного направления в строительстве специализированных зеркальных антенн.

Известно, что зеркальные параболические антенны являются одними из основных инструментов в радиоастрономии, космической связи, некоторых других областях техники и широко используются как самостоятельные инструменты, так и в качестве элементов сложных антенных комплексов. Их конструкции непрерывно совершенствуются, при этом неуклонна тенденция к росту размеров и повышению точности поверхности зеркал.

С экономической точки зрения главной задачей при проектировании больших радиотелескопов можно считать снижение веса при сохранении точности поверхности рефлектора. Выбор конструктивной схемы определяется рабочим диапазоном, т.е. необходимой точностью поверхности, а вес показывает совершенство связей в данной схеме и степень использования возможностей конструкционного материала. В наиболее распространенных конструктивных схемах зеркальных антенн их совершенство определяется характером способа компенсации или регулирования деформаций от собственного веса, т.е. средствами, при помощи которых распределяется масса в конструктивном объеме. Основными средствами и способами можно считать: 1) системы разгрузки поверхности, 2) многоопорные конструкции с промежуточными фермами (как частный случай, обычные ферменные конструкции) и 3) гомологические системы.

Проведенные в НИРФИ исследования показали, что регулировка деформаций весом, применяемая в "гомологических" схемах, в отдельных случаях может быть заменена или дополнена регулированием усилий как это делается в строительных сооружениях "бестяжестной" архитектуры (вантовых, оболочковых и других конструкциях).

В результате этих исследований был предложен новый тип легких зеркальных антенн с предварительно-напряженной вантово-стержневой пространственной структурой зеркала [1, 2] и рассмотрена возможность создания зеркальной антенны дециметрового диапазона на основе пространственно-стержневых систем с использованием гибких сетей и оболочек, которые теоретически достаточно полно исследованы в специальной литературе [3 - 5]. Характерной особенностью предложенных конструкций является их малый вес, и, как следствие этого, необычное соотношение основных расчетных нагрузок: аэродинамические силы составляют 80 - 90 % и силы тяжести 20 - 10%.

При разработке конструктивных схем применялись обычные методы расчета статически неопределимых систем, при этом делались попытки достигнуть необходимой жесткости конструкций введением расчетных предварительных напряжений.

В процессе работы выяснилось, однако, что отсутствие методов расчета, проверенных практикой, особенности и трудности расчета статически неопределимых вантовых систем, а также разобщенность методических сведений об искусственном регулировании не давали возможности производить силовые расчеты с необходимой точностью и, следовательно, эффективно учитывать распределение усилий. Вращение антенны вокруг её осей дополнительно осложняло задачу тем, что возникла необходимость учета связей в самых различных комбинациях изменяющихся внешних нагрузок с комбинациями искусственно созданных усилий. Вопрос об оптимальном предварительном напряжении, определяющем весовое совершенство конструкции, тре-

бовал полного соответствия расчетов схемы и реализованных конструктивных решений, особой точности в назначении внешних нагрузок, достоверных экспериментальных данных об аналогах и определенных сведений о действительных эксплуатационных и технологических ограничениях. Все это приводило к многочисленным расчетным допущениям, которые можно было оценить только экспериментальной проверкой. Поэтому решено было построить зеркало-макет и экспериментально исследовать особенности его конструкции. С этой целью в НИРФИ была создана и исследована 12-метровая антенна дециметрового диапазона волн РТВС-12. Исследования этой антенны одновременно использовались также и для общего анализа предварительно-напряженных конструкций, поскольку в дальнейшем на основе полученных данных предполагается разработать общую методику оптимального проектирования вантовых пространственно-стержневых конструкций с учетом искусственного распределения усилий.

В данной работе рассматриваются некоторые возможные конструктивные схемы вантовых антенн, дается краткий их анализ, описываются конструкции телескопа РТВС-12, принцип формообразования его отражающей поверхности и основные технические данные, приводятся результаты радиоастрономических исследований параметров зеркала и краткие сведения об его эксплуатационных характеристиках. В заключении рассмотрены перспективы применения подобных конструкций.

1. Возможные конструктивные схемы вантовых антенн.

Полезно рассмотреть некоторые принципиальные схемы вантовых антенных конструкций (см. рис. 1). При теоретическом анализе были взяты следующие геометрические характеристики антенны: диаметр зеркала $D_1 = 12$ м, диаметр каркаса $D_2 = 13$ м., глубина зеркала $y = 2,2$ м. Предполагалось, что все конструкции вмещаются в прямоугольник $2y \times D_2$ и используются однотипные ванты и

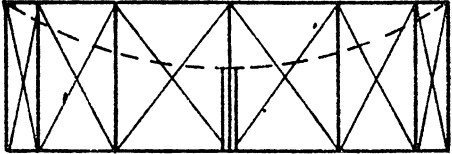
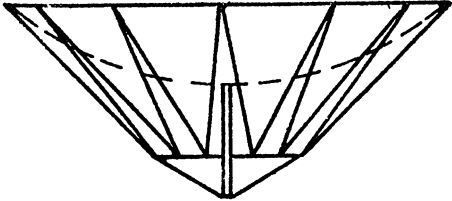
№ СХЕМЫ	Конструкция	Вес актив- ный, кг
1		652
2		681

Рис. 1

стержни. Зеркало схемы 1 имеет два многогранных обода, которые соединены между собой стойками. В вершинах граней установлены шарниры, работающие в плоскостях ободов. Пространственную жесткость и форму антенне придает система оттяжек и растяжек в виде канатов. Каркас представляет собой упругую систему, число степеней свободы которой определяется количеством шарниров обода.

Антенна схемы 2 имеет также два многогранных обода, которые соединены между собой наклонными стойками. Узлы нижнего обода смещены по отношению к узлам верхнего обода, отсутствуют растяжки в гранях, а боковые наклонные стойки соединяются в узлах верхнего и нижнего ободов. Расчетные веса конструкции (веса основных силовых элементов) имеют следующие величины:

$$P_1 = 652 \text{ кг}, \quad P_2 = 681 \text{ кг}.$$

Расчет перемещений узловых точек и усилий в элементах схемы при действии единичной равномерно распределенной нагрузки показал, что конструкция схемы 2 менее жесткая и более тяжелая, чем в схеме 1, однако допускает модификацию, при которой возможна одинаковая суммарная величина прогибов по всем сечениям в обеих схемах. Прогиб в центре такой модифицированной схеме может быть сделан в 1,5 раза меньше, чем в схеме 1. Анализ усилий схем 1 и 2 показал, что в обеих схемах отражающие поверхности работают на растяжение, а усилия во внутренних оттяжках незначительны по величине.

Хронологически первой была предложена и рассчитана конструкция схемы 1, строительство зеркала-макета РТВС-12 велось практически параллельно с расчетом последующих вариантов схем, поскольку для разработки методики расчетов выбор конкретной схемы не имел особого значения, а недостатки выбранной схемы при относительно небольшом диаметре зеркала были сочтены несущественными.

2. Конструкция радиотелескопа РТВС-12.

Радиотелескоп РТВС-12 является полноповоротным азимутально-угломестным инструментом для радиоастрономических наблюдений в дециметровом диапазоне волн. Основные технические характеристики радиотелескопа приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Основные технические характеристики РТВС-12

Диаметр отражающей поверхности зеркала	12 м
Относительный фокус	0,4 ($F = 4,8\text{м}$)
Отражающая поверхность	сетка с ячейкой 10 x 10 x 1 мм
Среднеквадратичная погрешность поверхности	0,6 - 0,8 см ⁺⁾
Крепление облучателя	на четырех штангах
Минимальная расчетная длина волны	20 см
Монтировка	Азимутально- -угломестная
Точность сложения	+ 5'
Скорость наведения по азимуту:	
быстрая	30° в мин.
медленная	80' - 70' в мин.
по углу места:	
быстрая	15° в мин.
медленная	30' - 35' в мин.
Максимальная допустимая скорость ветра при слежении	10 м/с

+) 0,6 - данные механических, 0,8 - радиоастрономических измерений.

Максимальная допустимая скорость ветра в нерабочем состоянии	25 м/с
Вес рефлектора	1,3 т ⁺)
Общий вес телескопа	5 т

Основными элементами конструкции радиотелескопа (рис.2) являются рефлектор 1, система облучения 2, опорно-поворотное устройство 3, привод по азимуту 4, привод по углу места 5, кабина 6 для размещения аппаратуры и пульта управления.

Особенностью конструктивного решения антенны является необычность формообразования поверхности и наличие предварительного напряжения в элементах всей конструкции.

Рефлектор антенны состоит из каркаса и отражающей поверхности, выполненной из стальной сетки (подробное описание см. в [1]). Каркас сделан из двух двенадцати-гранных ободов, соединенных жесткими стойками, которые крепятся в местах шарнирных соединений стержней ободов; здесь же закреплены гибкие радиальные связи, идущие к центральной части (оси). Радиальные тросы соединены шестью концентрическими кольцеобразными стержнями. На этой "лаутине" с помощью гибких оттяжек растянута отражающая сетка, которая образует многогранную поверхность, аппроксимирующую параболоид вращения, причем вершины многогранника (узлы сети) находятся на одной, а середины граней на другой стороне поверхностей двойной кривизны, отстоящих от теоретической на величину принятого допуска. Анализ отклонений точек многогранника от параболоида показал, что закон их распределения близок к равномерно распределенному. Это позволило одеть необходимое число точек крепления сетки и, следовательно, количество оттяжек. Общее их число равно 120, что по расчетам должно было обеспечить среднеквадратичную погреш-

+*) Обычные зеркала такого диаметра (ферменные конструкции) весят в 2-4 раза больше.

ность поверхности не хуже 0,9 см с учетом возможных конструктивных, технологических и эксплуатационных отклонений. Среднеквадратичная ошибка поверхности, рассчитанная только для дискретных точек крепления оттяжек, составила 5,6 мм и практически совпала с ошибкой, определенной механическими замерами отклонений указанных точек после отладки зеркала. Максимальное отклонение сетки от заданного параболоида было взято равным 10 мм, что определило максимальный диаметр элементарной ячейки сетки в 1,24 м. Все боковые грани каркаса имеют крестовые растяжки. В двух противоположных гранях расположены узлы (полуоси) для крепления зеркала на поворотном устройстве. Опорный контур и растянутая на нем "паутина" вантовой сети вместе с отражающей сеткой создают предварительно-напряженную систему, где основные силовые элементы работают на сжатие или растяжении.

Величина предварительного напряжения каркаса подобрана таким образом, что при максимальной ветровой нагрузке это напряжение не падает до нуля ни в одном из гибких элементов, что гарантирует сохранения формы отражающей поверхности. К переднему ободу каркаса крепятся четыре тяги, несущие контейнер для аппаратуры и систему облучения. Кронштейн для сменных облучателей может смещаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях на ± 25 мм от фокальной оси (вручную) и вдоль оси зеркала на 490 мм (дистанционно).

Каркас зеркала подвешен на наклонных фермах, опирающихся на квадратное основание из стальных ферм. В углах квадрата установлены домкраты системы горизонтирования и приводные тележки. С помощью растяжек, соединяющих углы квадрата, основание с приводными тележками центрируется на круговом рельсовом пути диаметром 18,3 м. Ушкоколейные рельсы уложены на полушпалах прямо на песчано-гравийный грунт и выставлены по радиусу и в горизонтальной плоскости с точностью ± 1 см.

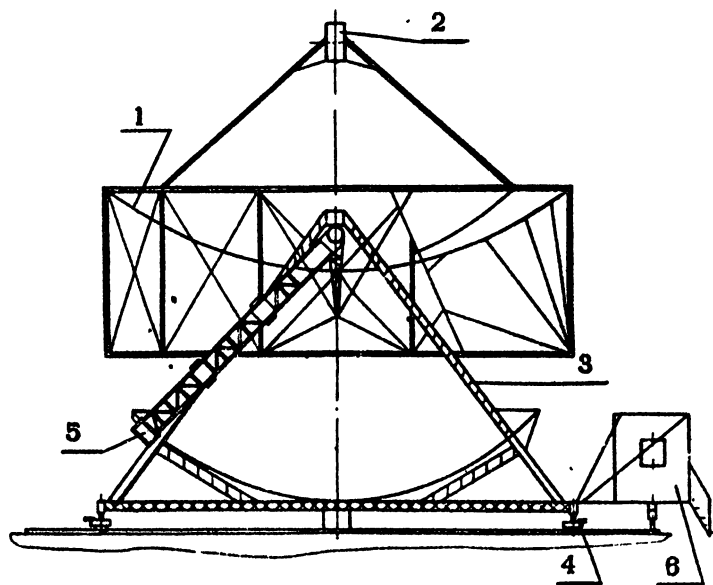


Рис. 2

Подшипник азимутальной оси с сельсин-датчиками азимутальной системы слежения установлен в центре антенной площадки и жестко соединен с фермами основания. Точность индикации положения антенны и по азимуту и по углу места равна 5 угл. мин. Пульт управления и аппаратура размещаются в технологической кабине площадью 12 кв. м. Кабина расположена на опорной тележке рельсового пути за зеркалом и связана шарнирно с основанием опорно-поворотного устройства.

Следует заметить, что поскольку РТВС-12 строился как большемасштабный макет каркаса зеркала, системы привода и индикации, а также конструкция опорно-поворотного устройства были сделаны по упрощенным схемам и при необходимости могут быть существенно улучшены.

3. Исследование параметров антенны РТВС-12

Электрические параметры антенны РТВС-12 измерялись радиоастрономическими методами на шести частотах от 1 до 3 ГГц. Первоначально определялось распределение энергии вдоль фокальной оси, с помощью которого устанавливалось фокусное расстояние, и оценивалось качество согласования системы зеркало-облучатель. Далее по радиоизлучению Солнца антенна юстировалась и измерялись диаграммы направленности в E и H -плоскостях. По излучению дискретного источника Кассиопея-А и "черного" диска, расположенного в ближней зоне антенны, измерялись КНД (или КИП) и рассеяние вне главного лепестка. Коэффициент полезного действия определялся по собственным шумам антенны⁺.

При измерениях использовались три однотипных облучателя (круглый волновод, возбуждаемый симметричным вибратором), рассчитанных на оптимальные длины волн 10,

⁺ О методике измерений см., например, [6].

20 и 30 см; облучатель на 20 см в процессе измерений перестраивался на 13, 15 и 21 см. Кроме того, на волне 30 см проводились контрольные замеры с облучателем в виде пирамидального рупора; в обоих случаях коэффициенты использования поверхности практически совпадали.

3.1. Фокусировка антенны, Фокальное пятно.

В конструкции радиотелескопа предусмотрена возможность перемещения облучателя вдоль оси зеркала ($\Delta Z = 430$ мм), позволяющая исследовать фокальное пятно, т.е. распределение поля вдоль оси (в частности, определить положение фокуса), а также фокусировать антенну на источники, расположенные на конечном расстоянии от антенны.

Фокусное расстояние определялось механическими размерами расстояния между вершиной зеркала и раскрытом облучателе при максимальном сигнале на выходе приемника. Неопределенность положения фазовых центров, связанная с тем, что облучатели имеют небольшое коническое расширение и края специальной формы, не превышала ошибки измерения положения максимумов на волнах 20 и 30 см. В результате измерений на трех основных волнах фокусное расстояние зеркала оказалось равным 4760 ± 25 мм.

Измеренная форма "фокальных пятен" для облучателей, настроенных на оптимальную длину волны (10, 20 и 30 см) практически не отличается от расчетной при измерениях по удаленному источнику (Солнце, рис. 3). При измерениях по источнику в ближней зоне (излучатель на вышке в 110 м от антенны) фокальные пятна изрезаны (Р 100, рис. 3). Измерения на волнах 13 и 15 см велись с применением облучателя на 20 см, подвергшегося соответствующей перестройке; это привело к тому, что распределение поля вдоль оси (рис. 4) значительно искажено независимо от расположения источника (модуляция фокального пятна).

Как видно из приводимых данных, к возникновению мо-

длина приводит как перестройка облучателя по частоте так и изменение амплитудно-фазового распределения поля в плоскости фокусировки при перемещении источника в ближнюю зону антенны. Поэтому после указанных операций каждый раз проводился контроль фокусировки и формы фокального пятна для определения поправки к величине измеряемых параметров.

3.2. Диаграмма направленности.

Диаграммы направленности в Е и Н -плоскостях (главный максимум и несколько ближайших боковых лепестков) измерялись по радионизлучению Солнца. На волнах 20 и 30 см конечные угловые размеры Солнца не приводят к уширению измеренной диаграммы. На волне 10 см. из-за сравнимости угловых размеров Солнца ($30'$) с полушириной ДН ($36'$) уширение последней составило примерно $4'$ [6]; поэтому проводились дополнительные измерения по генератору, удаленному от антенны на 400 м (Р 400 м): малое сокращение дальней зоны ($n \sim 6$) позволило считать искажения несущественными. Данные о полуширине диаграмм и уровне первого бокового лепестка сведены в табл. 2, а на рис. 5 и 6 приведены усредненные по нескольким реализациям диаграммы направленности на волнах 10 и 30 см.

Т а б л и ц а 2

λ , см	10		13	15	20	21	30
	Солнце Р400						
$\Delta\vartheta_{0,5-E, \text{ угл.}}$	40,5(-4)	35	69	56	71	74	111
$\Delta\vartheta_{0,5-N, \text{ мин.}}$	40 (-4)	36	61	54	69	73	109
$\eta_{\text{бок-E, дБ}}$	19	19	20	22,5	22,5	23	24,5
$\eta_{\text{бок-N}}$	14,5	14,5	15,5	17,5	20	20,5	24

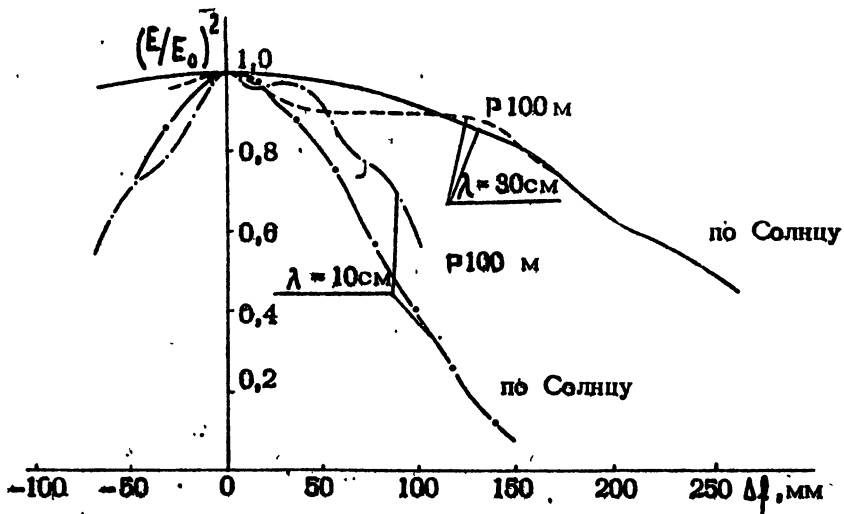


Рис. 3

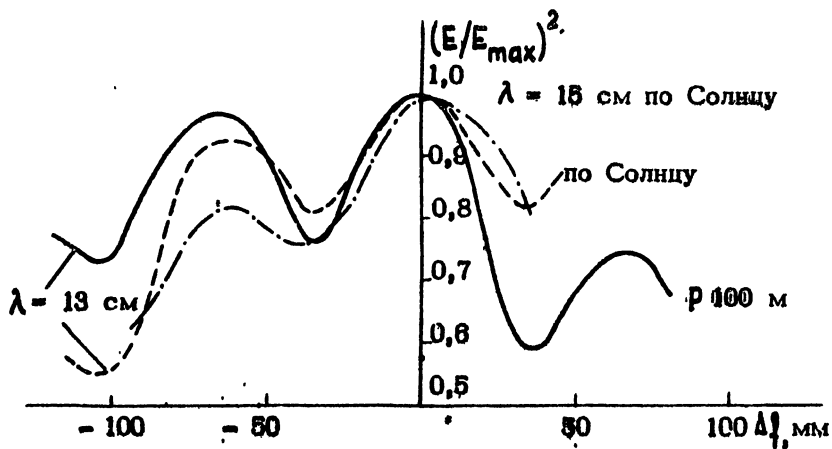


Рис. 4

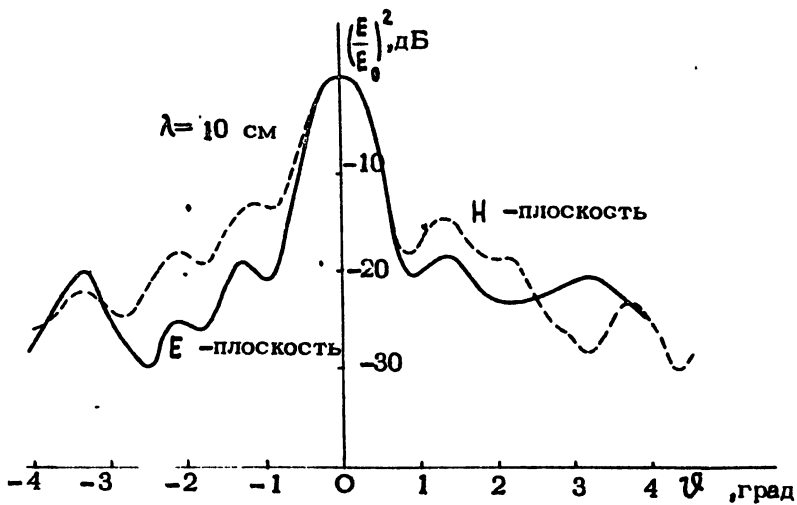


Рис. 5

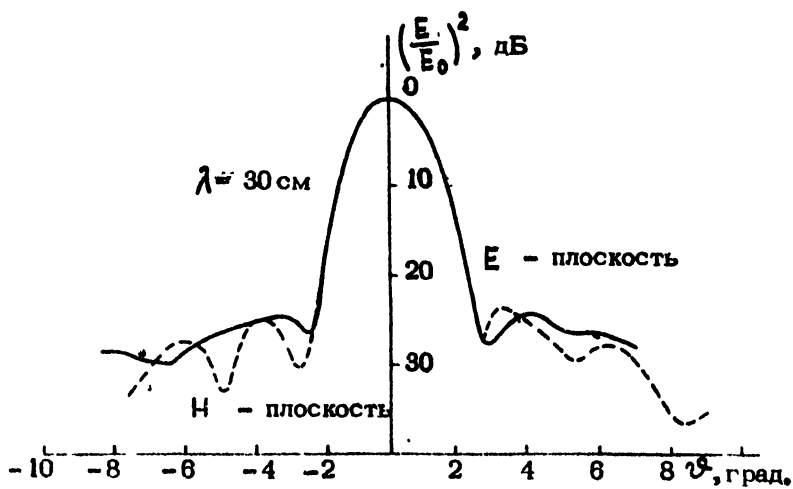


Рис. 6

Из табл. 2 видно, что главный максимум диаграммы симметричен на всех волнах, кроме 13 см, где величина отстройки облучателя по частоте превышает 50% от максимальной ($f_{\text{опт}} = 1500$ МГц). На волне 30 см уровень первых боковых лепестков порядка $-24 + 28$ дБ, на волнах короче 20 см начинает сказываться неточность изготовления поверхности зеркала-диаграммы имеют хорошо видимый "пьедестал".

Полуширина диаграммы направленности на основных длинах волн соответствует значениям, вычисленным по обычной приближенной формуле:

$$\Delta \vartheta_{0,5} = 70 \frac{\lambda}{D} \text{ (град)} \quad (1)$$

где D — диаметр зеркала (12 м). При перестройке 20-сантиметрового облучателя на более короткие волны зеркало недооблучается. При этом на $\lambda = 15$ см (отстройка по частоте $\Delta f = 0,33 f_{\text{опт}}$) уширение ДН незначительно и при расчете по формуле (1) соответствует некоторому эффективному диаметру $D_3 = 11,4$ м, т.е. потеря площади зеркала составляет около 9%; на $\lambda = 13$ см ($\Delta f = 0,53 f_{\text{опт}}$) $D_3 = 8,43$ м, потеря площади более 50%.

Такой способ оценки D_3 предполагает идентичность характеристик распределений поля или равенство апертурных коэффициентов использования всего зеркала при работе на частоте $f_{\text{опт}}$ и зеркала с диаметром D_3 при работе на частотах $(f_{\text{опт}} + \Delta f)$. Это обстоятельство было использовано при вычислении КИП на волнах 13 и 15 см (см. ниже).

3.3. Коэффициент использования поверхности (КИП).

Точность изготовления поверхности.

Основной задачей при измерениях КИП на нескольких частотах было определение минимальной длины волны, на которой может работать вантовое зеркало, т.е. определе-

ние точности изготовления поверхности и соответствия полученной величины расчетному значению и значению, вычисленному по данным механических измерений.

КИП антенны измерялся по излучению дискретного источника Кассиопея-А и по "черному" диску, расположенному в ближней зоне. Величины потоков, приведенные к эпохе 1976, 8 (с коэффициентами векового хода 1,45, 1,44; 1,4; 1,3; 0,4% соответственно на волнах 10, 13, 15, 20, 21 и 30 см), принимались на указанных волнах, равными 10,8; 15,2; 17,1; 21,1; 21,8; 29,4 единиц [7 - 9]. Средние значения КИП и ошибки измерений приводятся в табл. 3; для $\lambda = 13$ и 15 см в скобках даны значения КИП для зеркала с диаметром D , которые использовались при вычислении σ - среднеквадратичного отклонения поверхности от параболы.

Т а б л и ц а 3

λ , см	10	13	15	20	21	30
К И П	0,22	0,166 (0,35)	0,33 (0,37)	0,475	0,49	0,55
погрешность %	8	5 - 6	8 - 10	5-6	5	6

Коэффициент использования поверхности можно записать в виде [10]

$$\text{КИП} = \eta \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$$

где η - апертурный коэффициент использования, учитывающий неравномерность распределения поля в раскрыве, а η_1 , η_2 , η_3 - коэффициенты, учитывающие соответственно рассеяние облучателя вне телесного угла зеркала, рассеяние энергии тягами и системой крепления облучателя и уменьшение КНД из-за погрешности изготовления поверхности.

Будем считать, что β , η_1 , η_2 не зависят от длины волны при идентичных характеристиках облучателя. Коэффициент η_3 , вообще говоря, зависит от λ , точности изготовления поверхности σ и интервала корреляции ошибок ζ [11]. В вантовой конструкции зеркала за интервал корреляции можно принять среднее расстояние между точками крепления вант к сетке и радиальным тросам. Величина этих расстояний составляют 1-1,3 м, т.е. с хорошей точностью выполняется условие $\zeta \gg \lambda$. В этом случае коэффициент η_3 определяется обычным соотношением и не зависит от σ :

$$\eta_3 = \exp \left[- \left(\frac{4\pi\sigma}{\lambda} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

При принятых предположениях для определения σ достаточно измерить КИП на двух длинах волн. Из (2) и (3) получим

$$\sigma = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{\lambda_1^2 \lambda_2^2}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2} \ln \frac{\text{КИП}(\lambda_1)}{\text{КИП}(\lambda_2)}} \quad (4)$$

Из данных табл. 3 и соотношения (4) на волнах 10, 20 и 30 см величины σ оказываются равными соответственно 8,0; 8,1, 8,3 мм с ошибкой от 5 до 12%. Среднеквадратичное отклонение реальной поверхности исследуемого зеркала от расчетной $\bar{\sigma}$, таким образом, равно 8,15 мм с погрешностью порядка 8%. Существенное отличие от $\sigma_M = 5,7$ мм, измеренного механически, объясняется малым числом опорных точек при механических измерениях. Заметим, что относительная погрешность определения

σ по формуле (4) пропорциональна $\left[\ln \frac{\text{КИП}(\lambda_1)}{\text{КИП}(\lambda_2)} \right]^{-1}$ и при $\text{КИП}(\lambda_1) \approx \text{КИП}(\lambda_2)$ может существенно возрастать, поэтому необходимо подбирать рабочие частоты так, чтобы отношение КИП было больше 1,3 - 1,5 или увеличить их число.

На рис. 7 нанесена расчетная кривая (3) и экспериментальные точки с указанием интервала ошибок. При полученном ϵ значение η_3 на волнах 30 см было принято равным расчетному, поскольку на этой волне было достигнуто наилучшее совпадение результатов измерений КИП по излучению дискретного источника и по излучению "черного" диска; отсюда величина $\text{КИП}_0 = \text{КИП}(\eta_3 = 1)$ получилась равной 0,82. Совпадение в пределах ошибок измерений всех значений $(\text{КИП}(\lambda) / \text{КИП}_0)$ с расчетными при $\epsilon = \bar{\epsilon}$ указывает на правомерность использования обычного соотношения (3) для оценки ошибок поверхности вантового рефлектора в данном диапазоне волн и, кроме того, подтверждает эффективность способа определения точности изготовления по величине КИП на нескольких частотах при значительном их разnose в области быстрого спадания кривой η_3 , причем условные идентичности характеристик распределения поля в раскрыве на всех частотах не обязательно (при соответствующем пересчете к η_3). Для исследуемого зеркала выбор основных длин волн (10, 20, 30 см) явился близким к оптимальному: потери КИП из-за неточности поверхности составили 85,22 и 8% соответственно, т.е. был реализован наиболее крутой участок спадания кривой η_3 . Результаты на промежуточных длинах волн с хорошей точностью были получены при перестройке одного из сменных облучателей.

3.4. Коэффициент рассеяния.

Измерения коэффициента рассеяния ($1 - \beta$ гл.) проводились по излучению "черного" диска диаметром 1 м, удаленного от антенны на 110 м (антенна фокусировалась на диск). Высота диска над землей $\vartheta_g^0 = 7^\circ 40'$ ($\cos \vartheta_g^0 = 7,5$), угловые размеры диска $\Delta \vartheta_g^0 = 30' 58''$.

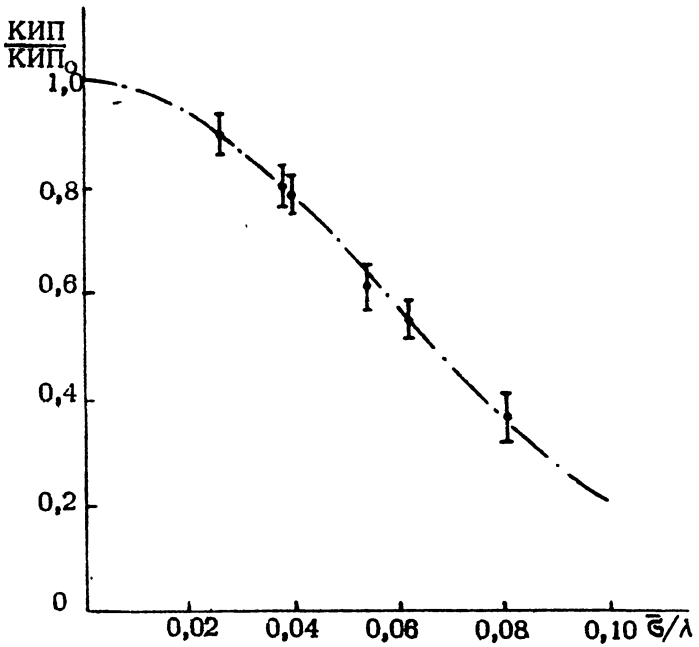


Рис. 7

Погрешность измерений из-за конечности расстояния до диска и модуляции[†]фокальных пятен равнялось 8 - 10 %. Результаты измерений рассеяния приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

λ , см	10	20	30
$1 - \beta_g$	0,108	0,073	0,041
$1 - \beta_{гЛ}$	0,815	0,63	0,75
g	0,7	0,75	0,74

Апертурный коэффициент g в табл. 4 определялся по формуле

$$g = \frac{\text{КИП}}{1 - \beta_{гЛ}} \quad (3)$$

Рассеяние вне главного лепестка на тех λ , где мало сказывается неточность изготовления поверхности, составляет примерно 20% общей излучаемой мощности, а, следовательно, рассеяние в заднее полупространство $\leq 10\%$. Наличие ошибок поверхности ($\pi/6$ на $\lambda = 10$ см) привело к существенному уменьшению ($1 - \beta_{гЛ}$) на более коротких волнах.

3.5. В ы в о д ы

Радиоастрономические исследования параметров антенны проводились дважды с перерывом в полгода, что давало возможность оценить стабильность характеристик радиотелескопа под влиянием различных внешних условий. Особое внимание было уделено собственно рефлектору, а также системе азимутального привода, как наименее ис-

следованным конструкциям.

Отражающая поверхность первоначально была сделана из специальной ткани, имеющей мелкую ячею и небольшой вес. Однако в процессе эксплуатации в полевых условиях ткань быстро потеряла форму и была заменена сеткой из нержавеющей стали. При этом были достигнуты расчетные величины среднеквадратичной ошибки поверхности, но близкие к максимальному пределу. Анализ полученных результатов позволил с уверенностью утверждать, что точность поверхности можно довести до минимальных расчетных значений ($\epsilon_M = 5,7$ мм) без увеличения числа вант более тщательным формированием сетки в промежутках между опорными точками, а также приданием соответствующей кривизны элементам кольцевой сети.

В ходе проведенных исследований РТВС-12 влияния тепловых и механических деформаций антенны на ее электрические характеристики замечено не было.

Установка антенны на рельсовый путь без специального фундамента потребовала предусмотреть возможность выравнивания плоскости основания, для чего углы квадрата были поставлены на домкраты, но в окончательном варианте система горизонтирования не была создана. Как показал опыт, после "усадки" грунта отклонений плоскости рельса больше допустимых при повороте антенны не наблюдалось. Наибольшие пригибы рельс возникали под опорной тележкой тяжелой кабины в периоды распутицы; на волнах больше 30 см этим эффектом можно было пренебречь. Вибрация кабины была значительна только при движении с быстрой скоростью и на работе радиоаппаратуры не сказывалась.

В целом можно заключить, что конструкция телескопа позволяет проводить точные радиоастрономические измерения круглый год (в условиях средней полосы страны).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт проектирования, строительства и эксплуатации радиотелескопа РТВС-12 доказал принципиальную возможность использования предварительно-напряженных пространственно-стержневых вантовых конструкций для создания полноповоротных зеркальных антенн. Результаты проведенных теоретических исследований, подтвержденные практикой позволяют сделать два основных вывода.

1. Использование принципов "бестяжестной" архитектуры конструкций при создании зеркальных антенн открывает новые возможности в развитии антенной техники, позволяющие существенно снизить вес (а следовательно, и стоимость) антенны дециметрового и сантиметрового диапазонов волн. В сочетании с известными принципами проектирования телескопов (например, гомологическими) это направление антенного проектирования может оказаться полезным при создании крупных универсальных антенн.

2. Особенности формообразования отражающей поверхности вантовых зеркал позволяют получить наибольший выигрыш от применения "бестяжестных" конструкций в дециметровом диапазоне волн.

Таким образом, явно видна тенденция к специализации конструкций антенн по их рабочим диапазонам. Очевидно, что отказ от универсальности радиотелескопов и применение специализированных конструкций может дать существенный экономический эффект, а также позволяет выработать определенные критерии оценки совершенства проектируемых антенн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.В. Бахарев, В.Н.Глазман, И.В.Мосалов.
Параболический рефлектор, препринт НИРФИ № 63,
Горький, 1974.
2. Н.В.Бахарев, В.Н.Глазман, Д.М.Козицын, И.В.Мосалов.
Авторское свидетельство № 402970 от 16.11.71.
3. Л.Г.Дмитриев, А.В. Киселев.
Вантовые покрытия, изд. Будевильник, Киев, 1974.
4. В.В.Трофимович, В.А.Пермяков.
Проектирование предварительно-напряженных вантовых систем. Изд. Будевильник, Киев, 1970.
5. О. Фрей.
Висячие покрытия. Изд. Литературы по строительству,
архитектуре и строительным материалам. М., 1960.
6. Н.М. Цейтлин.
Антенная техника и радиоастрономия, Изд. Сов.радио,
М., 1976.
7. Д.А.Дмитренко, Н.М.Цейтлин, Л.В.Виноградова, Х.Ф.Гитерман.
Изв. вузов - Радиофизика, 13, № 6 (1970).
8. Л.В.Виноградова, Д.А.Дмитренко, Н.М. Цейтлин
Изв. вузов - Радиофизика, 14, № 1 (1971).
9. Н.М.Цейтлин, Л.В.Дмитренко, Д.А.Дмитренко, Е.А.Миллер,
В.В.Снегирева, Г.К. Титов.
Изв. вузов - Радиофизика, 19, № 8 (1976).
10. Л.Д.Бахрах, К.И.Могильникова
Изв. вузов - Радиофизика, 7, № 4, 585 (1964)
11. Сканирующие антенные системы СВЧ.
Изд. Сов. радио, М., 1966.