

Нижегородский научно-исследовательский радиофизический институт
Министерства науки, высшей школы и технической политики
Российской Федерации

П р е п р и н т № 341

ДВУХТЕМПЕРАТУРНЫЙ ЭТАЛОН ШУМОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

Н.А.Дугин
Л.В.Дмитренко
В.Т.Корелов

Нижний Новгород 1992

Дугин Н.А., Дмитренко Л.В., Корелов В.Т.

ДВУХТЕМПЕРАТУРНЫЙ ЭТАЛОН ШУМОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ // Препринт
№ 341. - Нижний Новгород: НИРФИ, 1992 г. - 15 с.

Описаны конструкция и принцип действия нагреваемого первичного эталона шумового радиоизлучения, предназначенного для прецизионных измерений параметров антенн при решении задач радиoaстрономии и антенной техники. Представлены результаты лабораторных и полевых испытаний двухтемпературного эталона с диаметрами излучателей 56 см и разницей их шумовых температур $\sim (20 \dots 50)^\circ\text{C}$, использованного для абсолютных измерений потоков космических радиоисточников в линии 1,35 см.

Для проведения абсолютных измерений плотности потоков внеземных радиоисточников в НИРФИ был предложен и детально разработан метод "искусственной Луны" ("черных" дисков) /1/. С начала 60-х годов проводились регулярные наблюдения ряда мощных дискретных источников, в основном, в диапазоне дециметровых волн на РАС в Ст. Пустыне и на Кара-Даге. Расширение рабочего диапазона в коротко-сантиметровую и метровую области наталкивалось на два главных ограничения, которыми обладает этот метод. При применении искусственного эталона излучения приращение антенной температуры измеряется относительно сигнала от фона за диском, поэтому погрешность измерения определяется точностью оценки яркостной температуры излучения атмосферы в рабочем диапазоне длин волн. В миллиметровом и начале сантиметрового диапазонах атмосфера крайне нестабильна и оценка неточна, особенно для низких углов, на которых обычно наблюдается калибровочный эталон. Второе серьезное ограничение - учет дифракционной поправки (излучения земли, дифрагирующего на диске), которая возрастает с уменьшением размеров диска относительно длины волны λ и уменьшением угла наблюдения диска. Кроме того, в метровом диапазоне существенное влияние приобретает неравномерность космического фона за диском и его изменение в процессе измерений за счет вращения Земли. Эти факторы приводят к возрастанию погрешностей абсолютных измерений в указанных диапазонах, ограничивая возможности метода.

В работе /2/ был предложен способ измерений, исключавший эти недостатки, а именно, предлагалось измерять приращение антенной температуры при калибровке по двум эталонам с различной температурой, что полностью исключает влияние атмосферы и дифракционных явлений.

Первая реализация этого метода проводилась для калибровки рупорных антенн. Один из эталонов помещался в ванну с жидким азотом,

которая надвигалась на раскрыв рупора, установленного вертикально. Сложность работы и дороговизна такой установки очевидны; кроме того подобная реализация метода имеет и другие недостатки, затрудняющие или делающие невозможным ее использование для калибровки и крупных зеркальных антенн.

Более надежным и простым казался путь нагрева эталона в термокамере, однако практическая его реализация потребовала значительных усилий /3/.

При разработке конструкции двухтемпературного эталонного излучателя учитывались следующие основные условия:

- 1) эталон должен состоять из двух идентичных по конструкции первичных излучателей, имеющих разные температуры, для исключения ошибок измерений, обусловленных неопределенностью параметров атмосферы и дифракционной поправкой,
- 2) разность температур двух излучателей должна быть регулируема в определенных пределах для обеспечения оптимального режима измерений в различных диапазонах длин волн в различных погодных условиях,
- 3) распределение температуры по объему и поверхности радиопоглощающего материала (РПМ) в нагреваемом эталоне — равномерное для исключения ошибок расчета средней яркостной температуры эталона,
- 4) эталонные излучатели должны быть взаимозаменяемы по положению относительно калибруемой антенны дистанционно с помощью системы передвижения для упрощения и ускорения процесса калибровки,
- 5) "черный" диск (рабочее тело излучателя) должен экранировать от калибруемой антенны остальные элементы конструкции термокамеры для уменьшения вероятности появления паразитных сигналов.

Исходя из этих требований определились конструктивные характеристики элементов устройства. В общем виде созданный эталон (рис. 1-3) представляет собой два идентичных излучателя 1, 2 (в термокамерах), размещенных на концах двухплечевого рычага 3 с возможностью его поворота на 180° для замещения одного излучателя на другой.

Были рассмотрены несколько вариантов поворотного устройства; реализован наиболее близкий к существующему на РАС "Ст. Пустынь" каллибровочному эталону (рис.1).

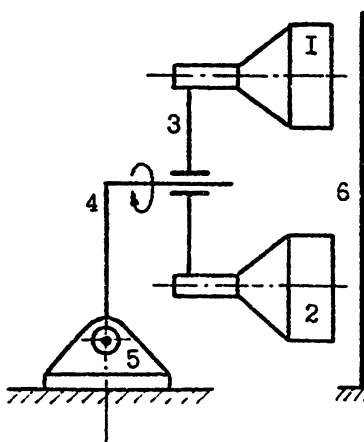


Рис.1

Требования равномерного прогрева РПМ и отсутствие "лишних" конструкций вокруг излучателя-диска, видимых со стороны антенны, определили способ прогрева "черного" диска как непрерывное пропускание потока нагретого воздуха через весь объем материала; следовательно, РПМ должен быть пористым или перфорированным, как и металлическая подложка диска. Размеры и межцентровые расстояния отверстий в металлическом отражателе 1 и РПМ 2 (рис.4) определяются рабочей длиной волны и требованиями к коэффициенту прохождения радиоволн через систему диск-РПМ.

Для плоской поверхности с круглыми отверстиями с расстояниями между центрами $d < (0,3...0,4)\lambda$ соотношение для расчета

В варианте рис.1 излучатель, находящийся в нерабочем положении (вне главного лепестка ДН антенны), убирается за экран 6 для исключения попадания его излучения в ДН антенны; в варианте рис.2 экран не требуется, так как излучатель в нерабочем положении повернут от антенны; вариант рис.3 предполагает экранирование одного излучателя другим, что упрощает конструкцию и более приемлемо при больших размерах термокамер, поскольку требует меньших усилий для поворота системы и невысоких стоек.

Конструкция термокамер потребовала отдельной тщательной проработки.

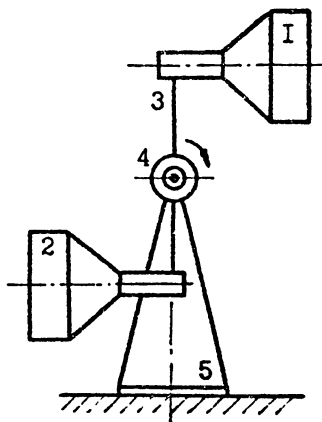


Рис.2

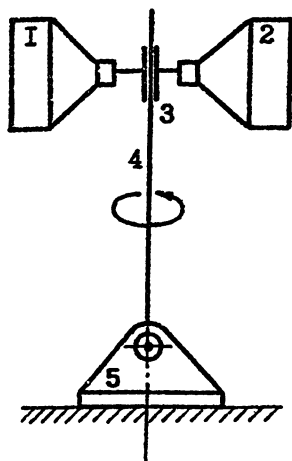


Рис. 3

коэффициента прохождения K при нормальном падении плоской волны и имеет вид /4/

$$|K| = \frac{2\pi}{3} \frac{D^3}{\lambda d^2},$$

где D - диаметр отверстия. Например, при $D/d = 0,5$; $D/\lambda = 0,1$ через отражатель проходит $\sim 5\%$ энергии электромагнитных волн. Металлический отражатель может быть сделан из сетки. Например, сетка $10 \times 10 \times 1$ мм на волне 10 см обеспечивает величину коэффициента прохождения не более 5% .

Конструкция термокамеры показана на рис. 4. Термокамера 3 имеет форму усеченного конуса для обеспечения ее минимальной отражающей поверхности, видимой со стороны калибруемой антенны.

Передняя стенка 4 термокамеры выполнена из радиопрозрачного теплоизоляционного материала, например, пенопласта. Направляющий кожух 5 выполнен из материала с высокой теплопроводимостью для обеспечения изотермического режима работы внутри термокамеры. Нагреватель 6 состоит из трубчатых элементов типа ТЭН, закрепленных в коробке теплообменника 7. Коробка теплообменника может быть заполнена металлической стружкой. Эластичные трубки 8 совместно с подвижной пластиной 9 образуют распределитель потока воздуха. Расстояние между отверстиями на пластине превышает шаг патрубков теплообменника.

Равномерность распределения температуры по поверхности и объему излучателей обеспечивается следующим образом. Вентилятор 10 нагнетает воздух в направляющий кожух 5. Поток воздуха проходит через теплообменник 7, трубки 8 распределителя и излучатель. В обратном направлении поток воздуха движется в зазоре между стенками термокамеры и кожуха.

При калибровке эталонного излучателя регулирование потока воздуха осуществляется плоскопараллельным перемещением пластины 9 по направляющим. При движении пластины к теплообменнику концы трубок

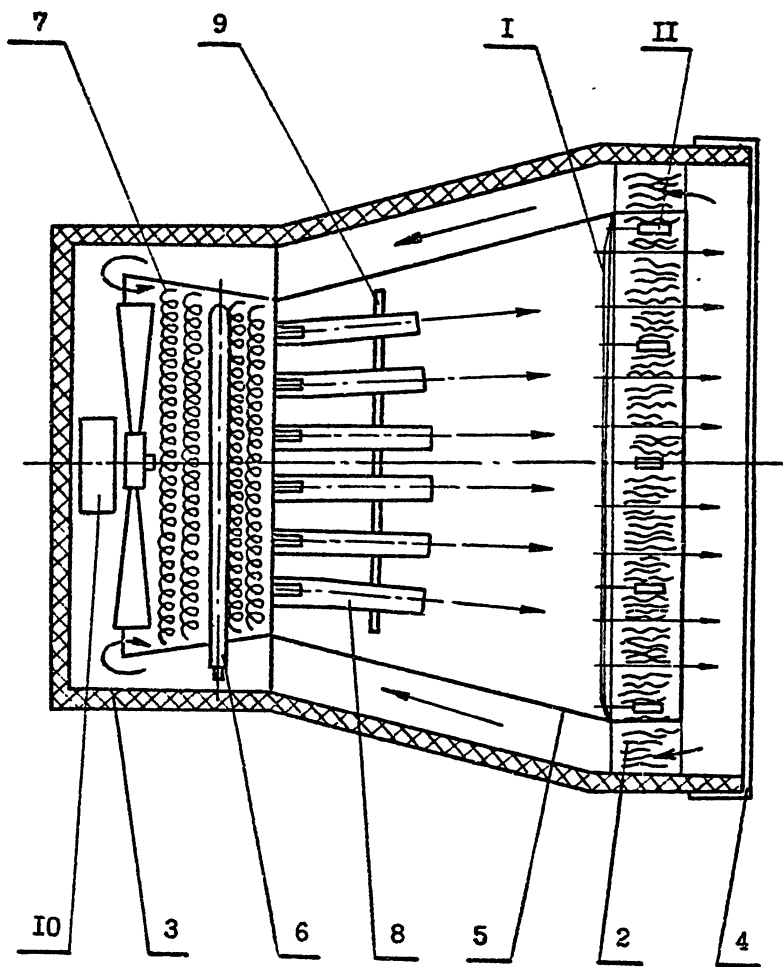


Рис. 4

расходятся к периферии рабочей поверхности излучателя, меняя распределение температуры по поверхности излучателя. Регистрация характера распределения температуры осуществляется с помощью термодатчиков II. При достижении равномерного нагрева излучателя датчики с его поверхности удаляются. Температуру излучателя меняют путем включения соответствующего количества элементов нагревателя. Верхний предел диапазона рабочих температур определяется термостойкостью используемого радиопоглощающего материала. Постоянство температуры в камере поддерживается с помощью электронного терморегулятора, датчик которого устанавливается на РИМ (на рисунке не показан, схему см., например, в /5/). В нашем случае датчик помещен в центре диска, поскольку по методике измерений необходимо периодическое вращение эталона на 180° для замещения излучателей с различными температурами в ДН антенны, при этом возникают определенные перепады температуры в верхнем и нижнем секторах камеры, а температура в центре остается постоянной.

В конкретной реализации нагреваемого эталона с внешним диаметром 56 см применен пористый, хорошо продуваемый ПИ материал Б-4 ("болото"), имеющий достаточно широкий рабочий диапазон; максимальная температура нагрева - 55°C .

Циркуляция воздуха при полном заполнении раскрыва камеры РИМ вплоть до торцовых стенок, сделанных из тонкой стали, с материалом типа Б-4 проходит свободно, так же как с открытой щелью между ободом диска и внешней стенкой камеры. Наличие щели крайне нежелательно из-за невозможности оценить ее вклад в антенную температуру. В первоначальном варианте конструкции при ширине щели ~ 30 мм ($> 2\lambda$) и при радиопрозрачной задней стенке камеры эффективный размер излучателя был близок к полному размеру камеры по торцовым стенкам, то есть щель "работала" практически как "черное" тело. Поэтому в окончательном варианте конструкции камеры щель была заполнена поглотителем до торцовых стенок, несмотря на то что температура РИМ у стенки камеры на глубину до 1 см была на $2-3^\circ$ ниже средней по диску. Для устранения этого недостатка в дальнейшем предполагается изменить конструкцию торцевой стенки камеры.

Экспериментальные исследования характеристик нагреваемого эталона. Эталон исследовался в два этапа. В лабораторных условиях из-

мерялись характеристики излучателя в термокамере, а в полевых условиях эталон был размещен на поворотном устройстве на вышке высотой 25 м, по нему проводилась калибровка 7-метровой антенны при абсолютных измерениях потоков радиоисточников в линии $\Gamma, 35$ см.

В лабораторных условиях исследовалась динамика изменения температуры РПМ при нагревании эталона от момента включения и работа системы терморегулирования в течение длительного времени. Температура нагрева устанавливалась $\sim 53^{\circ}\text{C}$, измерения велись ртутными термометрами в 9 различных точках поверхности РПМ, излучатель располагался как в помещении ($T_0 \sim 20^{\circ}\text{C}$), так и на открытом воздухе ($T_0 \approx 0^{\circ}\text{C}$). Время прогрева до установления T_{max} составляло 50...70 минут, размах колебаний температуры со временем менялся от 1 до 3°C . Сильные колебания T , выходявшие за пределы требуемой точности, вызваны, в основном, применением нагревателей, обладающих большой инерционностью и слишком большой разницей температур в камере и вне ее, то есть сильной потерей тепла из системы.

На рис. 5 и 6 в качестве примера приведены несколько реализации процесса изменения температуры в разных точках поверхности диска РПМ в зависимости от времени с начала нагрева для различных внешних условий, максимальной температуры нагрева и положения подвижной пластины системы распределения потока воздуха; цена деления ртутных термометров 0,1. Видно, что устойчивое термодинамическое равновесие системы с практически равномерным распределением температуры по поверхности РПМ достижимо при определенной разнице внешней и внутренней температур, которая легко находится эмпирически для каждой конкретной реализации конструкции термокамеры.

В лабораторных условиях определялось также распределение радиояростной температуры по поверхности излучателя на длинах волн $\Gamma, 35$ и $\Gamma, 43$ см на установке, разработанной и созданной группой сотрудников НИРФИ под руководством В.С.Рассадовского. На рис. 7, 8 даны распределения радиояростной температуры в горизонтальной и вертикальной плоскостях апертуры диска. Видно, что яростная температура также практически постоянна по всей поверхности РПМ, перепад в вертикальной плоскости не превышает 1° , что вполне допустимо и легко объяснимо. Нежелательные эффекты изменения температуры в камере происходили при ее вращении вокруг продольной оси, если датчик терморе-

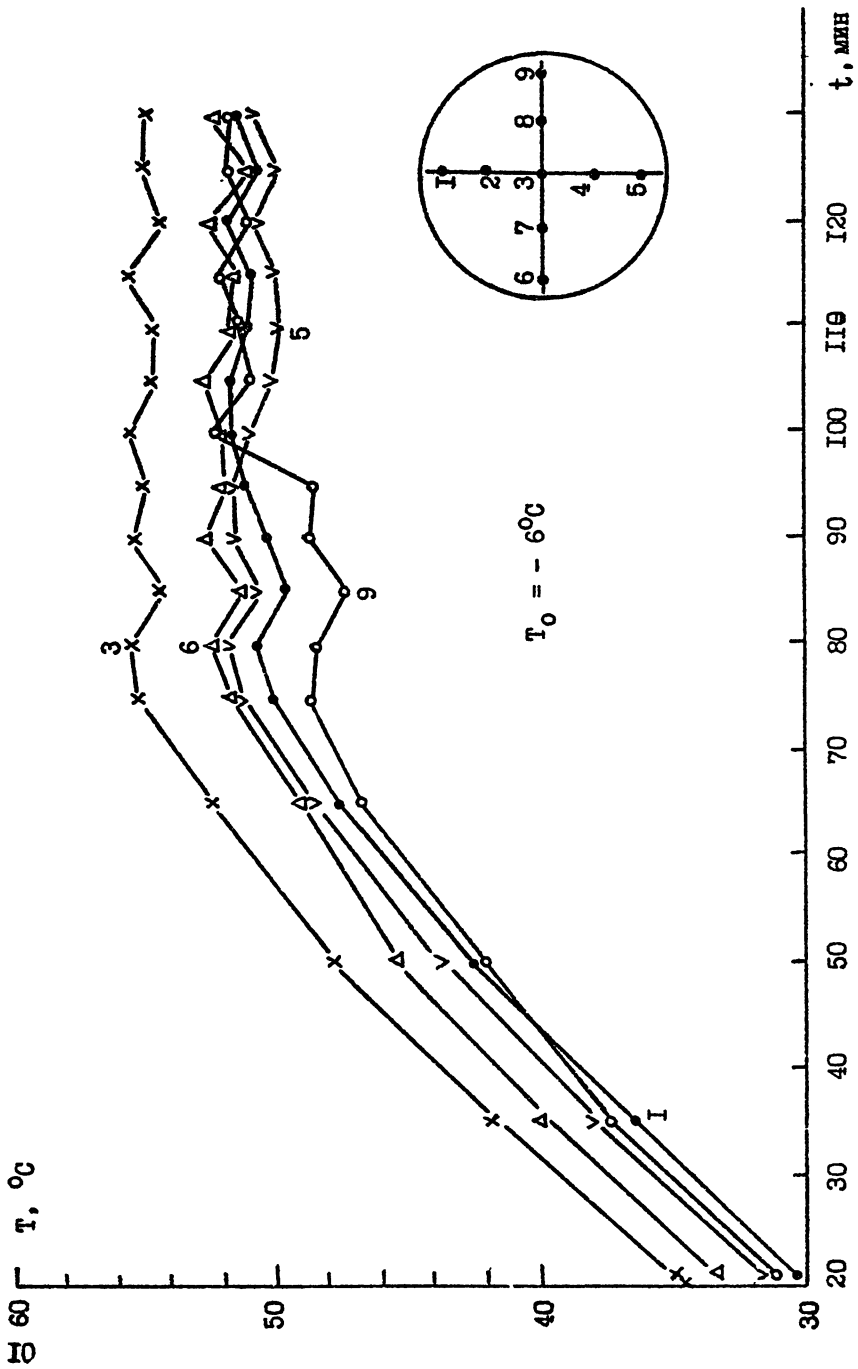


Рис. 5

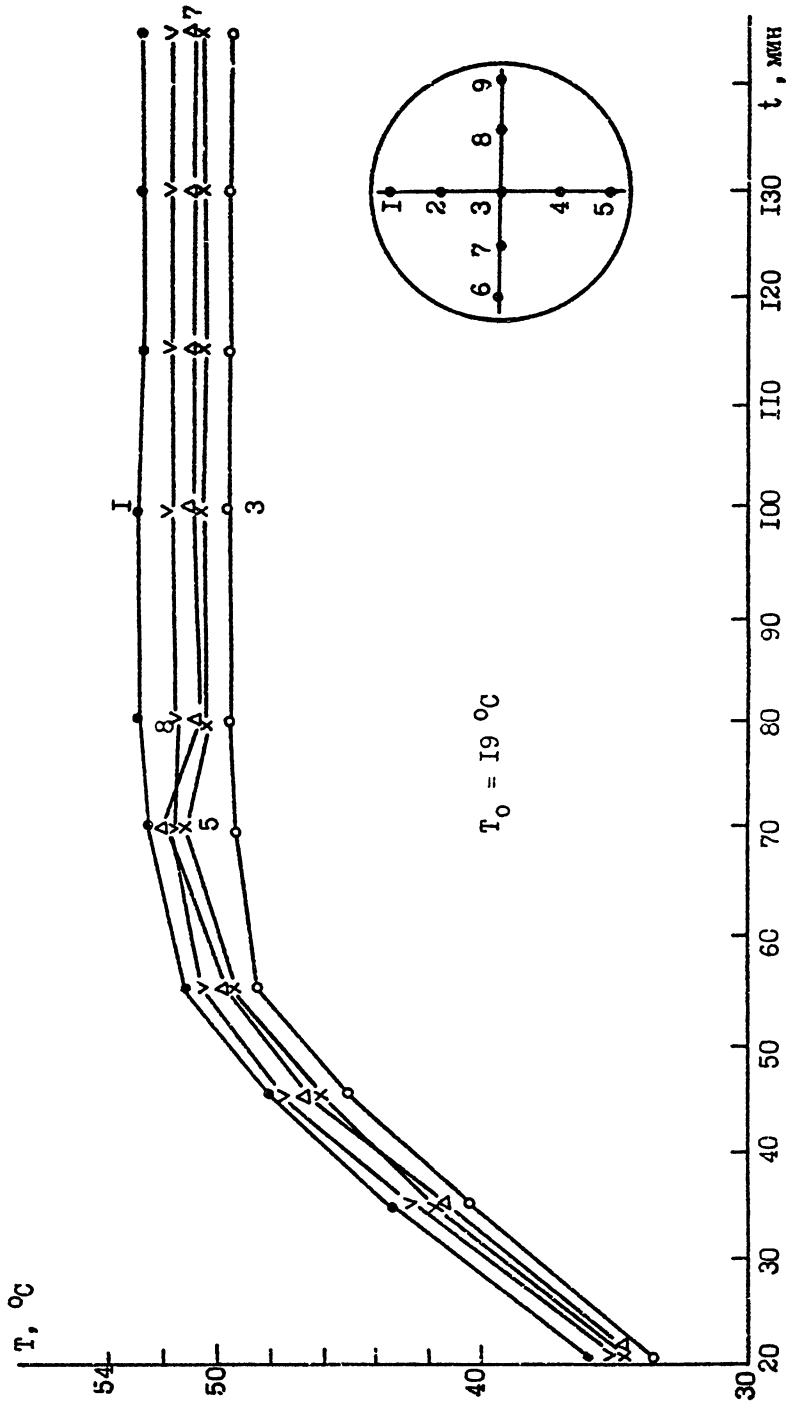


Рис. 6

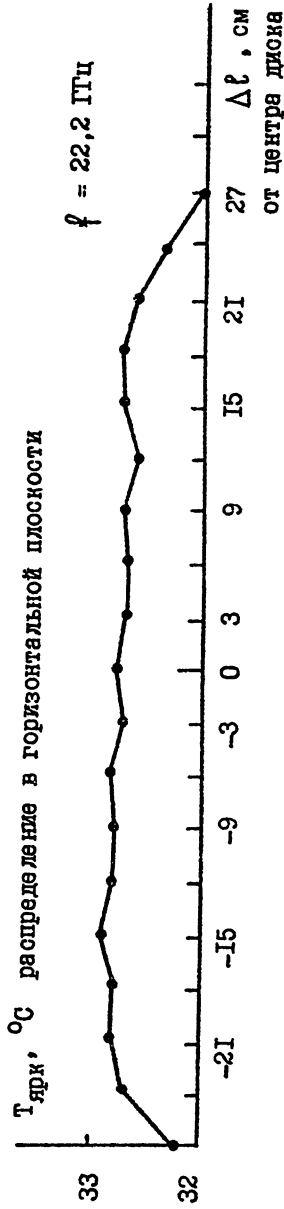


Рис. 7

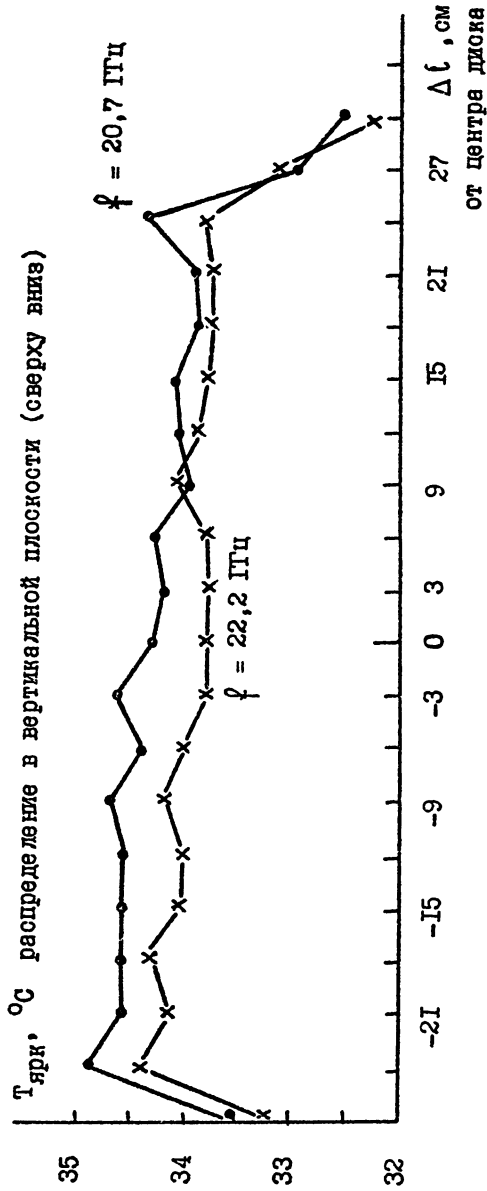


Рис. 8

гулятора находился не в центре диска. Коэффициент отражения от излучателя, закрытого пенопластовой крышкой толщиной ~ 10 мм, не превышает 0,3% (при диаметре зонда ≈ 20 мм).

При работе с излучателями, установленными на вышке, рабочая температура нагреваемого эталона устанавливалась равной 37°C , поскольку при этой температуре (и $T_0 \sim 0^{\circ}$) для данной конструкции термометра устанавливался оптимальный режим терморегулирования. Прогрев длился ~ 30 минут, в дальнейшем колебания температуры полностью отсутствовали. Датчики измерения температуры были установлены в центре диска и с края внутри и вне РПМ. Температура по объему РПМ практически постоянна, градиент к краям не превышал 1° . Длительность работы системы достигала 12–14 часов.

Второй излучатель находился при выключенной системе нагрева. Его температура существенно зависела от внешних факторов – силы ветра, попадания прямых солнечных лучей и т.д. Поэтому желательно температуру "холодного" эталона поддерживать чуть выше температуры окружающей среды.

Проведенные исследования разработанного двухтемпературного эталона шумового радиоизлучения подтвердили эффективность конструкции, возможность достижения заданных параметров и поддержания их стабильности длительное время, что позволило провести серию прецизионных абсолютных измерений потоков радиоисточников на волне $1,35$ см и создало предпосылки для разработки эталона с большими размерами на другие диапазоны рабочих частот.

Л и т е р а т у р а

1. Цейтлин Н.М. Антенная техника и радиоастрономия. – М.: Сов.радио, 1976.
2. Станкевич К.С. // Радиотехника и электроника. – 1969. – Т.14, № 3. – С.528.
3. Бахарев Н.В., Дугин Н.А., Корелов В.Т. Двухтемпературный эталон шумового радиоизлучения. Заявка на изобретение. Положительное решение от 11.10.1991 года.

4. Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Т., Терешин О.И. Антенны УКВ, Т. 2. - М.: Связь, 1977. - С.174.
5. Веденеев Ю.Б., Прытков Н.М., Тихонова Л.А. Регулятор термоста-
тирования//ПТЭ. - 1981. - № 5. - С.228.

Дата поступления статьи
24 января 1992 г.