Г. М. Товмасян

КОЛЬЦЕВОЙ РАДИОТЕЛЕСКОП С ВЫСОКОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СИЛОЙ

Современный этап развития радиоастрономии требует применения радиотелескопов со все большей чувствительностью и разрешающей силой. Достижение же этих целей сопряжено обычно с непомерным увеличением размеров и стоимости антенн радиотелескопов. Конструкции больших радиотелескопов особенно усложняются из-за необходимости их подвижности для обзора возможно большей части неба. Для радиотелескопов дециметрового и сантиметрового диапазона длин волн конструктивные трудности усугубляются еще необходимостью соблюдения больших точностей поверхности зеркала и установки облучателя в его фокусе при различных положениях радиотелескопа. В целях упрощения антенных систем и снижения их стоимости в основном идут по пути уменьшения размеров подвижных частей или же ограничения движения больших конструкций (антенна переменного профиля, крестообразная антенна, апертурный синтез, двухзеркальная антенна с неподвижной сферической чашей в качестве главного отражателя, параболоид с вращением только по одной координате, антенна Краусса и т. д.).

В настоящей работе предлагается новая антенная система—двухзеркальный кольцевой радиотелескоп, имеющий высокую эффективную разрешающую силу при значительной простоте и дешевизне конструкции. Главным зеркалом радиотелескопа является установленное на горизонтальной поверхности сферическое кольцо большого диаметра D и небольшой ширины. Нормаль к поверхности кольца составляет небольшой угол γ (порядка 8°—10°) с горизонтом. Кольцо может

быть составлено из небольших независимых элементов и потому относительная точность его установки будет определяться геодезическими методами, обеспечивающими точность до 10^{-6} [1].

Передвижение второго, корректирующего зеркала по фокальной линии главного зеркала, представляющей собой окружность с диаметром, равным приблизительно $D/2$, позволяет вести прием из направлений с постоянной высотой (углом места) h и различными азимутами. Обзор неба производится в широком интервале склонений, равном $180°-2\varphi$ для $\varphi > h$, где φ —географическая широта места расположения радиотелескопа. Ведя прием лучей, наклоненных к поверхности зеркала под углом, равным или несколько большим γ, можно расположить второе зеркало непосредственно на земле. Тогда высота h, на которой ведутся наблюдения, будет равна или несколько больше 2γ. Второе зеркало при этом должно быть спроектировано с учетом устранения аберраций. Низкое расположение корректирующего зеркала позволяет просто передвигать его по кольцевому рельсовому пути с помощью невысокой тележки. Механические натяжения малого зеркала будут, очевидно, постоянными при всех его положениях, что существенно облегчает и упрощает его конструкцию. При наблюдениях на всех азимутах будет постоянна и форма диаграммы направленности, которая, очевидно, является ножевой.

При раскрыве корректирующего зеркала в горизонтальном направлении, равном 0.07—0.1 D, можно облучать часть кольца с раскрывом порядка 0.6—0.7 от диаметра кольца D [2] и, тем самым, иметь очень узкую горизонтальную диаграмму направленности $0_г$. (При $D = 1$ км $0_г = 1'$ на длине волны 10 см). Длина «ножа»—вертикальная диаграмма направленности радиотелескопа $0_в$— будет определяться шириной колца a (порядка 10—100 м). Раскрыв корректирующего зеркала в вертикальном направлении порядка нескольких метров, поскольку для облучения (в ближней зоне) небольшой ширины кольца может быть использован узкий горизонтальный разрез обычного корректирующего зеркала двухзеркальной антенны.

При $\varphi \neq 0^\circ$ «нож» диаграммы радиотелескопа располагается под некоторым углом ψ к направлению суточного движения наблюдаемых объектов, определяемым выражением $\cos\psi = \cos(90 \pm \delta)\ \sin A$, где A — азимут наблюдения. Поэтому одиночное наблюдение не позволяет реализовать разрешающую силу, соответствующую узкой горизонтальной диаграмме направленности радиотелескопа. Исключение составляют наблюдения в меридиане, когда с большой точностью можно определять только прямые восхождения дискретных радиоисточников. Однако обе координаты наблюдаемых дискретных радиоисточников будут измерены с точностью, соответствующей θ_r, если исследуемую область пронаблюдать дважды на симметричных относительно меридиана азимутах. Тогда как прямое восхождение, так и склонение радиоисточника определятся по разнице между расчетным и наблюдаемым звездным временем второго прохождения. Поскольку угол ψ для заданных φ и h зависит от склонения δ, то разрешающая сила радиотелескопа будет различна для различных склонений. На рис. 1 для случая $\varphi = 40^\circ$ приведена

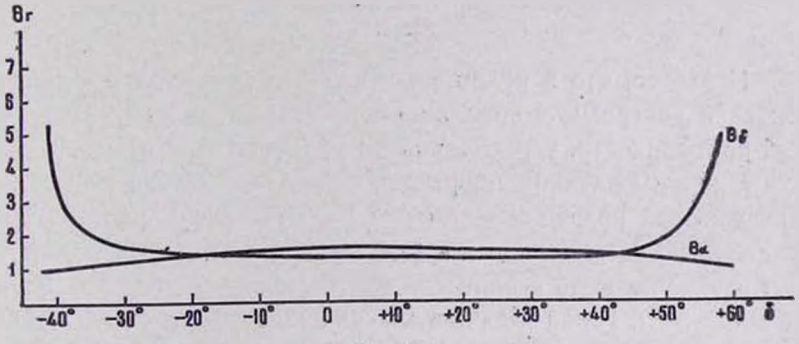

Рис. 1.
Ч. 1.

эффективная разрешающая сила кольцевого радиотелескопа по обеим координатам. Из рисунка следует, что, за исключением двух полос склонений, шириной приблизительно в 10° у северного и южного краев обозреваемой радиотелескопом области неба, эффективная разрешающая сила кольцевого радиотелескопа по обеим координатам соответствует в среднем

1.5 $\theta_г$ и, следовательно, эквивалентна разрешающей силе параболического радиотелескопа с диаметром, равным 0.4—0.5 от диаметра кольца. Причем одна серия наблюдений позволяет измерить координаты радиоисточников во всей полосе, вырезаемой на небе длинной стороной «ножа». При одной серии наблюдений не будут однозначно определены координаты двух или более радиоисточников с равной интенсивностью, одновременно попадающие в область с площадью $\theta_п^2 \cos^2 \psi/4$ (см. рис. 2). Для решения задачи необходимо будет провести дополнительные наблюдения на несколько отличных склонениях, т. е. при несколько других азимутах второго зеркала.

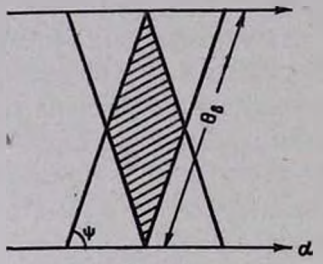

Рис. 2.
Fig. 2.

Известно, что в целом ряде случаев при наблюдениях с ножевой диаграммой возможно и восстановление распределения радиояркости, усредненной по областям $\theta_г/2$ [3, 4].

При наблюдениях, например, на волне 10 см для реализации высокой разрешающей силы кольцевого радиотелескопа необходимо устанавливать и удерживать в заданном положении второе зеркало в процессе всего наблюдения с точностью до около 2 см. Такая задача в случае кольцевого радиотелескопа не представляет технической трудности и решается просто, без применения дорогостоящей автоматики. Точность установки второго зеркала не зависит от диаметра кольца, поскольку изменению диаграммы направленности при этом соответствует эквивалентное изменение длины приходящегося на единицу угла рельсового пути. Из-за очень малого относительного отверстия зеркала, достигающего 1 : 50, можно будет немного передвигать по вертикали второе зеркало без существенных изменений диаграммы направленности радиотеле-

скопа. Это позволит проводить в некоторых пределах и сопровождение наблюдаемой области неба. Так, в случае радиотелескопа с диаметром кольца в 1 *км*, расположенного на широте $\varphi=40^\circ$, радиоисточники у южного предела обозреваемой области неба могут сопровождаться в течение около двух часов, у северного предела—около одного часа. Наименьшее время—порядка 10 минут, могут сопровождаться источники с азимутом около 90°. Для такого сопровождения необходимо будет перемещать по вертикали второе зеркало менее чем на 1 *м*. При этом оно уйдет из фокуса всего на 1.5 *см*, что находится в пределах допустимых ошибок его установки.

Помимо высокой эффективной разрешающей силы и очевидной простоты и относительной дешевизны, кольцевой радиотелескоп обладает еще и следующим очень важным преимуществом. На рельсовых путях можно установить до 20 корректирующих зеркал и, тем самым, одновременно и независимо вести наблюдения во многих направлениях и на различных волнах. Добавление каждого небольшого корректирующего зеркала в кольцевом радиотелескопе означает по сути дела получение нового независимого радиотелескопа с большой эффективной разрешающей силой.

Низкое расположение корректирующего зеркала позволит без каких-либо затруднений применять мазеры с холодильными установками.

Немаловажным преимуществом является и то обстоятельство, что, в отличие от радиотелескопов других типов, строительство кольцевого радиотелескопа можно вести по частям без ущерба для наблюдений. Построив часть отражающей поверхности кольца, уже можно, независимо от продолжения строительства, вести наблюдения в некоторой полосе склонений с расширением последней до максимального значения по мере введения в строй новых частей кольца.

Таким образом, кольцевой радиотелескоп, обладающий простотой и дешевизной конструкции и эксплуатации и высокой разрешающей силой, имеет много преимуществ по сравнению с известными конструкциями радиоастрономических радиотелескопов с идентичными по площади отражающими поверхностями.

Հ. Մ. ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ

ՄԵԾ ԼՈՒԾԻՉ ՈՒԺ ՈՒՆԵՑՈՂ ՕՂԱԿԱԶԵՎ ՌԱԴԻՈԴԻՏԱԿ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Նկարագրված է էժանագին և պարզ կառուցվածք ունեցող աստղագիտական ռադիոդիտակ։ Առաջարկված՝ օղակաձև ռադիոդիտակը բաղկացած է երկու հայելուց։ Գլխավոր հայելին հորիզոնական, անշարժ տեղակայված սֆերիկ օղակ է, որի մակերեսը մի փոքր թեքված է հորիզոնի նկատմամբ։ Օղակի տրամագիծը՝ D-ն մի քանի կմ է, իսկ բարձրությունը մոտ 100 մ կամ ավելի քիչ։ Երկրորդ հայելին, որի բարձրությունը ընդամենը մի քանի մետր է, տեղակայված է ցածր սալլակի վրա և կարող է շարժվել գլխավոր հայելու շրջանաձև ֆոկալ գծով։ Դիտումները կատարվում են միևնույն հաստատուն բարձրության վրա և կարելի է դիտել հակումների լայն տիրույթ, որը հավասար է 180°—2φ (φ-ն ռադիոդիտակի աշխարհագրական լայնությունն է)։ Ռադիոդիտակի ուղղվածության հորիզոնական դիագրամը որոշվում է գլխավոր հայելու 0.6 D բացվածքով։

Տեղակայելով մի քանի երկրորդ հայելիներ (թվով մինչև 20) կարելի է միաժամանակ և անկախ դիտումներ կատարել մի քանի տարբեր ուղղություններով։

Օղակաձև ռադիոդիտակի վրա դիտումները կարող են սկսվել (սահմանափակ տիրույթում) դեռ մինչև գլխավոր հայելու կառուցման լրիվ ավարտը։

H. M. TOVMASSIAN

A RING RADIO TELESCOPE WITH A HIGH RESOLVING POWER

S u m m a r y

The proposed simple and cheap radio telescope, named ring radio telescope, is a two-mirror aerial system. The main mirror is a stationary, horizontally mounted spherical ring of large diameter *D* (several *km*) and height of about 100 *m* or less, the surface of which is inclined a little to the horizon. The secondary small mirror, the height of which is only several

metres, is placed on the ground and can be mooved on a circular railway track along the focal line of the main mirror. The observations can be made at the same constant elevation in a wide range of declanations, equal to $180°-2\varphi$ where φ is the geographical latitude of the radio telescope. The narrow horizontal beam of the ring radio telescope is determined by the illuminated aperture of the main mirror equal to $0.6D$.

By mounting several secondary mirrors (up to 20) on the railway track it is possible to make quite independent simultaneous observations in many different directions.

The observations in a limited part of the sky may be commenced without finishing the full construction of the main ring mirror.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ф. Н. Красовский*, Руководство по высшей геодезии, 102, 1926, М.—Л.
2. *П. М. Геруни*, Радиотехника и электроника, **9**, 3, 1964.
3. *R. N. Bracewell*, Aust. J. Ph., **9**, 198, 1956.
4. *Ю. Н. Парийский, С. Э. Хайкин*, Известия ГАО, **21**, № 164, 27, 1960.