

ОБРАЗОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ ИЗ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АНТЕННЫ ПЕРЕМЕННОГО ПРОФИЛЯ (АПП)

Н. Л. Кайдановский

Рассмотрена возможность построения фазовой дифракционной решетки из отражающих элементов главного зеркала антенны переменного профиля с целью многократных наблюдений нестационарных источников радиоизлучения.

The possibility of the phased array formation from the main reflector of the variable profile antenna (VPA) is considered with the purpose of multiple observations of unsteady radio source.

Расчлененность отражающей поверхности АПП, состоящей из отдельных подвижных отражающих элементов [1], позволяет формировать из нее различные отражающие дифракционные решетки.

Такие решетки создают многолепестковую диаграмму направленности, которая может быть использована при многократных наблюдениях нестационарных источников радиоизлучения.

Предложенные ранее методы образования многолучевых диаграмм [2, 3] приводили к существенному сокращению разрешающей силы радиотелескопа. В отличие от них использование дифракционной решетки позволяет сохранить полную разрешающую силу радиотелескопа, так как ширина лепестков многолучевой диаграммы направленности определяется полной длиной апертуры АПП.

Принятая на АПП методика повторных наблюдений источников с помощью подвижного первичного облучателя [4] требует оперативного управления камертой с облучателем в течение наблюдений и при больших выносах из фокуса приводит к существенным aberrациям. Кроме того, эта методика применима при наблюдениях только на одной волне.

В отличие от обычных плоских решеток дифракционная решетка, образованная из рефлектора АПП, самофокусирующаяся, неэквидистантная и фазовая.

Предложение использовать АПП в режиме дифракционной решетки было сделано еще в 60-х годах [5], однако до настоящего времени оно не получило развития и применения.

Точный расчет такой решетки может быть сделан на основе алгоритма и критерия оптимальности, предложенных в [6].

Ниже изложен приближенный численный расчет модели фазовой дифракционной решетки, служащий только для обоснования возможности ее построения.

Одна из возможных моделей фазовой дифракционной решетки может быть образована секторами главного зеркала АПП, в которых отражающие элементы, отстоящие друг от друга на расстояние половины длины сектора, смещены в радиальном направлении на

$$\Delta = (2k + 1) \lambda / 2 (1 + \cos \psi \cdot \cos h) \cos (\psi - \varphi), \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

где ψ — угловая координата отражающего элемента из фокуса; φ — из центра; h — угол места источника. Секторы расположены симметрично относительно оси радиотелескопа.

Вследствие выполненного радиального смещения половины отражающих элементов каждого сектора дифракционный максимум нулевого порядка дол-

жен исчезнуть, так как волны, отраженные каждой половиной сектора, будут в фокусе противофазны.

В то же время вблизи фокуса должны появиться дифракционные максимумы различных порядков в точках, где за счет разности хода лучей, отраженных элементами сектора, будет скомпенсировано введенное радиальное смещение.

Расстояние между дифракционными максимумами определяется числом отражающих элементов в секторе. Наименьший возможный сектор состоит из двух отражающих элементов, ему соответствует наибольшее расстояние между дифракционными максимумами.

Выбор числа отражающих элементов в секторе и, следовательно, расстояния между дифракционными максимумами зависит от характера наблюдательной задачи.

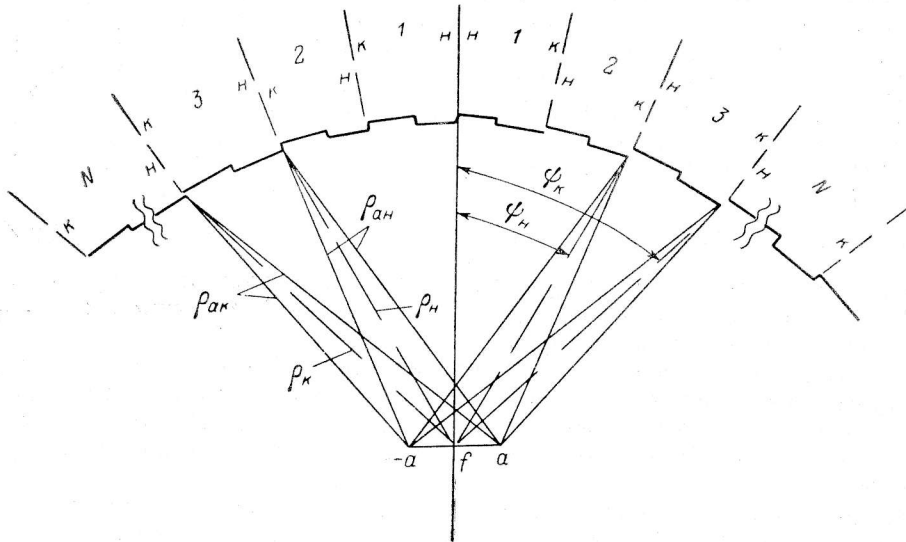


Схема отражающей поверхности АПП, разбитой на сектора.

Половина отражающих элементов каждого сектора смещена в радиальном направлении в соответствии с формулой (1). №=3, 2, 1 — номера секторов; k и n — конец и начало сектора; ψ_k и ψ_n — азимуты k и n из фокуса f; ρ_k и ρ_n — радиусы-векторы k и n из фокуса f; ρ_{ak} и ρ_{an} — радиусы-векторы k и n из точек дифракционных максимумов.

Дифракционная решетка будет работать удовлетворительно, если максимумы, образованные различными секторами, совпадают с точностью порядка десятых долей длины волны.

Координаты дифракционных максимумов могут быть определены из условия, что разность хода лучей от фронта волны, проходящего через фокус, до начала и конца сектора и после отражения до дифракционного максимума равна нечетному числу длин волн, т. е.

$$L_k - L_n = (2n + 1)\lambda. \quad (2)$$

Так как $L = l + \rho_a$, где $l = P - \rho$ — путь луча от фронта волны до отражающего элемента; ρ и ρ_a — радиусы-векторы отражающего элемента из фокуса и дифракционного максимума, а P — параметр эллипса в сечении отражающей поверхности (см. рисунок), то

$$L_k - L_n = (2n + 1)\lambda = (\rho_{ak} - \rho_{an}) + (\rho_n - \rho_k), \text{ откуда } \rho_{ak} - \rho_{an} = (2n + 1)\lambda - (\rho_n - \rho_k). \quad (3)$$

Из треугольников akf и anf (см. рисунок) следует

$$(\rho_{ak}^2 - \rho_{an}^2) = \rho_k^2 - \rho_n^2 + 2a(\rho_n \sin \psi_n - \rho_k \sin \psi_k). \quad (4)$$

Допуская приближение, что $\rho_{ak} + \rho_{an} \approx \rho_k + \rho_n$, получим

$$\rho_{ak} - \rho_{an} = \rho_k - \rho_n + 2a(\rho_n \sin \psi_n - \rho_k \sin \psi_k) / (\rho_k + \rho_n) = (2n + 1)\lambda + (\rho_k - \rho_n),$$

откуда

$$a/\lambda = (2n + 1) (\rho_n + \rho_n)/2 (\rho_n \sin \psi_n - \rho_n \sin \psi_n). \quad (5)$$

При сделанных упрощающих предположениях смещения дифракционных максимумов направо и налево от фокуса симметричны и различаются только знаком.

Точная реализация расчетного значения длины сектора, отвечающего выбранному положению дифракционного максимума, невозможна вследствие дискретности отражающей поверхности АПП.

N	80°			60°			40°			20°		
	p	a/λ	Δa/λ	p	a/λ	Δa/λ	p	a/λ	Δa/λ	p	a/λ	Δa/λ
1	14	8.69	0.03	14	6.71	0.03	14	5.63	0.03	13	5.47	0.00
2	14	8.76	0.04	14	6.79	0.05	14	5.73	0.06	13	5.59	0.12
3	14	8.97	0.24	15	6.55	0.19	15	5.57	0.10	14	5.39	0.08
4	15	8.68	0.04	16	6.48	0.25	16	5.56	0.11	15	5.35	0.12
5	16	8.59	0.13	17	6.92	0.18	17	5.71	0.04	16	5.46	0.01
6	17	8.73	0.01	18	6.85	0.11	19	5.75	0.08	18	5.42	0.05
7	19	8.66	0.06	20	6.88	0.14	22	5.79	0.12	20	5.61	0.14
Среднее		8.72	0.08		6.74	0.14		5.67	0.08		5.47	0.07

Задача о минимальном расхождении дифракционных максимумов от различных секторов $\Delta a/\lambda = |a/\lambda - a_{ср}/\lambda|$ сводится к подбору оптимального числа отражающих элементов в секторах.

В таблице представлен пример численного расчета значений смещения максимума первого порядка a/λ и разброса этой величины $\Delta a/\lambda$ для семи секторов в каждой половине отражающей поверхности РАТАН-600 [7], для углов места $h=20, 40, 60, 80^\circ$ (N — номер сектора, p — число отражающих элементов в секторах).

Все приведенные в таблице примеры решеток создают дифракционные пучки с угловым периодом $a' \approx 2.5\lambda$ см. Средняя величина разброса Δa порядка $\sim 0.1\lambda$ не должна существенно влиять на уровень дифракционных лепестков.

Мощность в лепестках будет падать по мере увеличения номера лепестка в соответствии с диаграммой направленности одного отражающего элемента.

Наблюдения источников с помощью лепестковой диаграммы направленности можно вести одновременно на ряде первичных облучателей с различной, но кратной длиной волны, поскольку дифракционные максимумы на разных волнах не накладываются.

Ширина полосы принимаемых частот порядка 5—10 %, при использовании нескольких ближайших порядков, не будет ограничивать чувствительности по потоку за счет расширения области дифракционного максимума.

Литература

- Хайкин С. Э., Кайдановский Н. Л. Новый радиотелескоп высокой разрешающей силы // Приборы и техн. эксперим. 1959. № 2. С. 19—24.
- Кайдановский Н. Л. Формирование многолучевых диаграмм направленности у антенн переменного профиля // Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1975. 7. С. 207—213.
- Голубчина О. А., Голубчин Г. С. Метод «Эстафеты» // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1981. 14. С. 125—131.
- Стоцкий А. А. Аберрации главного зеркала антенны переменного профиля и сканирование диаграммы направленности путем смещения облучателя // Изв. ГАО. 1972. № 188. С. 63—76.
- Парийский Ю. Н., Шиврис О. Н. Методы радиоастрономического использования РАТАН-600 // Изв. ГАО. 1972. № 188. С. 13—39.
- Фазовые дифракционные решетки с заданными параметрами — об одной обратной задаче оптики / А. Е. Березный, С. В. Комаров, А. М. Прохоров и др. // Докл. АН. 1986. 287, № 3. С. 623—627.
- Радиотелескоп РАТАН-600 / С. Э. Хайкин, Н. Л. Кайдановский, Ю. Н. Парийский и др. // Изв. ГАО. 1972. № 188. С. 3—12.

Поступила в редакцию 24 июня 1987 г.