

УДК 522.2 : 523.164

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АПЕРТУРАМИ С ОДНОЙ ПЛОСКОСТЬЮ СИММЕТРИИ

И. А. Морозова

Предлагается дальнейшее развитие метода фильтрации пространственных частот для случая заполненной апертуры с одной плоскостью симметрии. На основании теоремы о свертке вводится система отсчета пространственных частот от «центра масс» апертуры. Теоретические выводы подтверждены результатами оптического моделирования с источником некогерентного излучения.

Как известно [1], существует два метода получения изображения в радиоастрономии. Первый опирается на знание диаграммы направленности (ДН) антенны радиотелескопа. Второй — на знание пространственно-частотной характеристики (ПЧХ) радиотелескопа.

В связи с применением сложных антенных систем в радиоастрономии второй путь в ряде случаев оказывается предпочтительным благодаря простоте и наглядности.

Для линейной системы спектры входного $\tilde{T}_\pi(U, V)$ и выходного сигналов $\tilde{T}_a(U, V)$ связаны соотношением

$$\tilde{T}_a(U, V) = \tilde{T}_\pi(U, V) \tilde{A}(U, V), \quad (1)$$

где $\tilde{A}(U, V)$ — ПЧХ радиотелескопа, U и V — пространственные частоты в двух ортогональных направлениях.

Поскольку ДН по мощности антенны равна произведению двух комплексно-сопряженных функций (ДН антенны по напряжению), преобразуемых по Фурье, то ПЧХ радиотелескопа, равная обратному преобразованию Фурье от ДН по мощности, является сверткой вида

$$\tilde{A}(U, V) \sim \iint E\left(U - \frac{x}{\lambda}; V - \frac{y}{\lambda}\right) E^*\left(\frac{x}{\lambda}; \frac{y}{\lambda}\right) dx dy. \quad (2)$$

Для графического построения ПЧХ радиотелескопов широко используется уравнение [2]

$$\tilde{A}(U, V) \sim E \bullet E^* \sim E \circ E^*, \quad (3)$$

где \circ — знак корреляции, \bullet — знак свертки.

Однако только для четных действительных функций, инвариантных относительно начала координат, когда $E\left(\frac{x}{\lambda}; \frac{y}{\lambda}\right) = E\left(-\frac{x}{\lambda}; -\frac{y}{\lambda}\right)$, различие между операциями свертки и корреляции исчезает. Следовательно, формула (3) справедлива только для апертур с двумя плоскостями симметрии.

Рассмотрим равномерно и синфазно облученную апертуру с одной плоскостью симметрии, например, полукольцо (рис. 1). Как следует из формулы (2), для построения ПЧХ следует выбрать систему координат раскрыва для отсчета параметров U и V . Если для апертуры с двумя плоскостями симметрии осями координат являются линии пересечения плоскостей симметрии с плоскостью апертуры, то в рассматриваемом случае мы имеем лишь одну плоскость симметрии, а следовательно, и одну ось координат.

При условии выполнения принципа линейной суперпозиции апертуру можно представить как равномерное распределение точечных масс. Тогда свертка является моментом второго порядка относительно центра масс. Проведем на рис. 1 вторую ось координат, перпендикулярно уже имею-

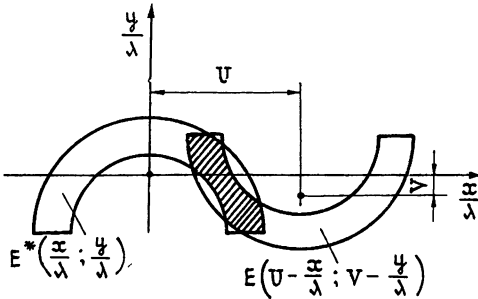


Рис. 1.

щейся, через точку «центра масс» апертуры.

Положим $U = 0$ и $V = 0$ в формуле (2). Тогда, согласно теореме о свертке,

$$\iint E\left(\frac{x}{\lambda}; \frac{y}{\lambda}\right) E^*\left(\frac{x}{\lambda}; \frac{y}{\lambda}\right) dx dy = \iint G(\xi, \eta) G^*(\xi, \eta) d\xi d\eta, \quad (4)$$

где $G(\xi, \eta)$ — ДН по напряжению рассматриваемого раскрыва.

Для иллюстрации предложенного способа построения ПЧХ апертур с одной плоскостью симметрии методом оптического моделирования с точечным источником некогерентного излучения исследовалось пять форм апертур: от прямоугольника, который изгибался до полукольца, и полукруг, рис. 2.

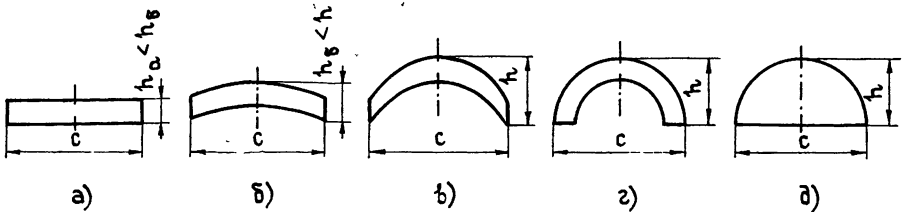


Рис. 2.

На рис. 3 представлены сечения автосвертки исследуемых апертур при $U = 0$ и $V = 0$. Начало отсчета выбрано в «центре масс» раскрыва. Заштрихованные площади пропорциональны амплитуде ПЧХ на нулевой гармонике пространственной частоты. Сечения имеют две плоскости симметрии.

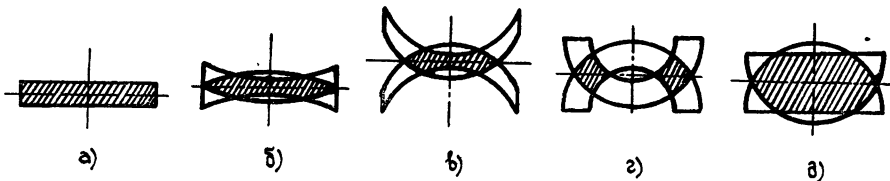


Рис. 3.

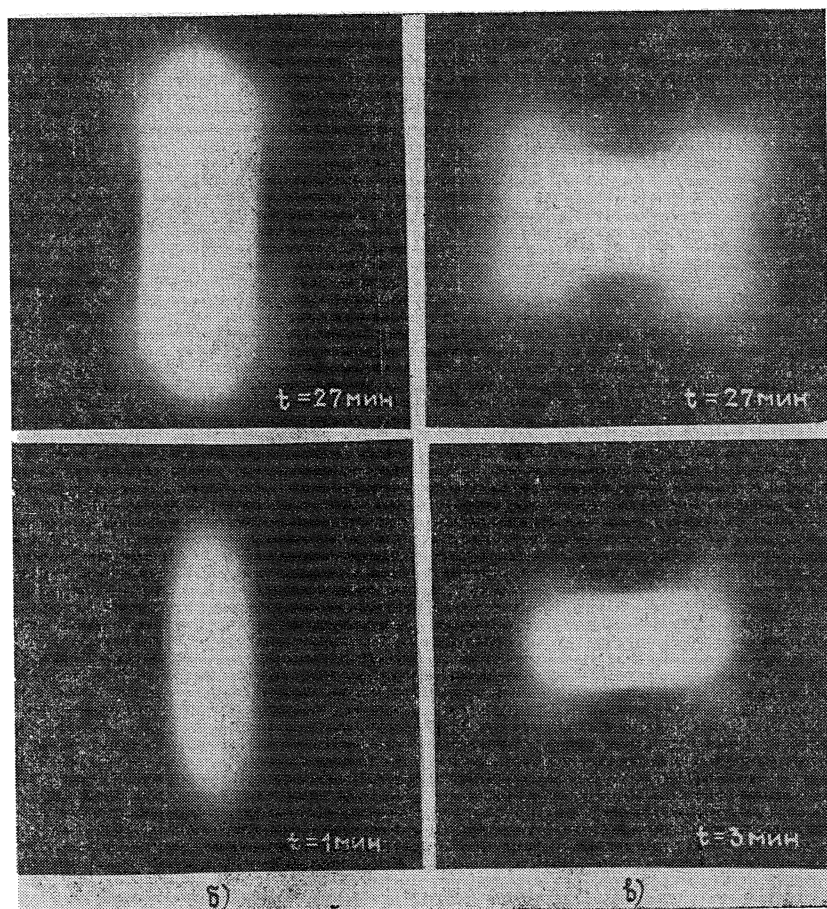
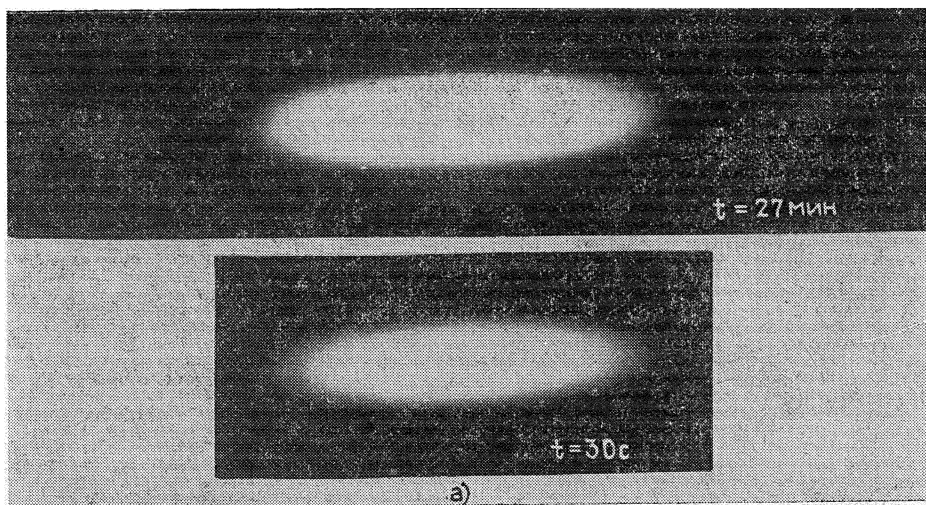


Рис. 4а, б, в.

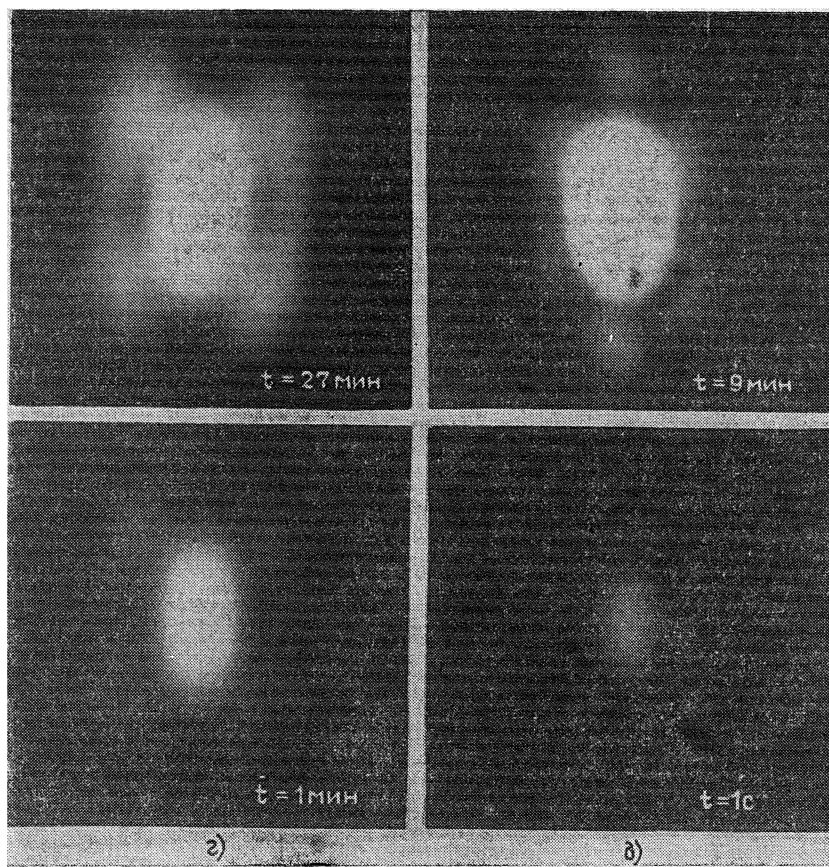


Рис. 4 г, д.

Фотографии картин дифракции Фраунгофера на рис. 4 от исследуемых раскрывов соответствуют максимальным и минимальным выдержкам.

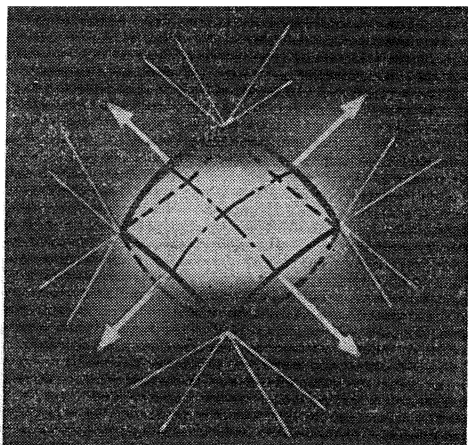


Рис. 5.

Сравнение построенной по методу геометрической теории дифракции [3] картины дифрагированных лучей от рассчитанного в нашей работе сечения полукольца (рис. 3г) с экспериментально полученной картиной дифракции Фраунгофера от апертуры в форме полукольца показывает полное их соответствие (рис. 5).

Таким образом, можно сделать вывод, что нахождение системы отсчета параметров U и V антенны радиотелескопа является существенным звеном при анализе апертур с одной плоскостью симметрии, так как автосвертка апертурных распределений здесь не может быть

подменена автокорреляцией. Учет особенностей формирования ПЧХ апертурами с одной плоскостью симметрии позволит осуществить наиболее эффективное их использование.

В заключение автор пользуется возможностью выразить глубокую признательность Г. Б. Гельфрейху, Н. М. Цейтлину, А. Н. Коржавину и В. И. Турчину за полезные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Есепкина, Д. В. Корольков, Ю. Н. Парийский, Радиотелескопы и радиометры, изд. Наука, М., 1973.
2. R. N. Bracewell, IRE Trans., Ap-9, № 1, 59 (1961).
3. Joseph B. Keller, J. Appl. Phys., 28, № 4, 426 (1957).

Главная Астрономическая обсерватория
АН СССР

Поступила в редакцию
13 августа 1979 г.

SOME PROBLEMS OF RADIATION PATTERN FORMATION BY APERTURES WITH ONE SYMMETRY PLANE

I. A. Morozova

The further development of the method of space frequency filtration is proposed for the case of a filled aperture with one plane of the symmetry. Based on the theorem on coiling a frame of references is introduced for the space frequencies from the «mass centre» of the aperture. Theoretical conclusions are confirmed by the results of optical modelling with a source of incoherent radiation.

В ИПФ АН СССР в 1979 г. издан сборник «Обращение волнового фронта оптического излучения в нелинейных средах». В него включены обзорные и оригинальные статьи, содержание которых отражает совершенное состояние исследований в области обращения волнового фронта (ОВФ) оптического излучения в нелинейных средах. Изложены новые результаты по исследованию методов ОВФ, работе лазерных систем с использованием элементов ОВФ, динамике генерации излучения в лазерах с зеркалами, обращающими волновой фронт. Приведен библиографический перечень литературы по указанной проблеме.

Заказы на сборник можно направлять по адресу:

603600, Горький, ул. Ульянова, 46, Институт прикладной физики АН СССР,
Городецкой Н. А.