

## СРАВНЕНИЕ ТРЕХ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ

И.Ф. Малов, В.А. Фролов

*Показано, что при восстановлении распределения радиояркости космических источников минимально-фазовый метод может быть более эффективным, чем главное решение и метод подбора.*

В работе /1/ приведены данные о модуле и фазе функции видности (ФВ) более чем для 60 космических радиоисточников на волне  $\lambda = 21$  см. Измерения проводились на базах  $D$  от  $144\lambda$  до  $2626\lambda$ . На основе этих данных можно сравнить эффективность трех методов восстановления распределения радиояркости по источнику: главного решения, подбора (fitting) и минимально-фазового метода (МФМ). Первые два использованы в /1/, третий исследован в работах /2-3/.

В методе главного решения находится фурье-преобразование (ФП) от функции видности  $G(u) = \Gamma(u)e^{i\varphi(u)}$  (где  $u = 2\pi D/\lambda$ ), построенной по измеренным значениям  $\Gamma(u_i)$  и  $\varphi(u_i)$ . Недостатки этого метода связаны с неравномерностью точек  $u_i$  и произволом в интерполяции при построении как  $\Gamma(u)$ , так и  $\varphi(u)$ .

Метод подбора заключается в поиске распределений, представляющих собой сумму гауссовых профилей, для которых кривые  $\Gamma(u)$  и  $\varphi(u)$  наилучшим образом согласуются с измеренными значениями  $\Gamma(u_i)$  и  $\varphi(u_i)$ . При этом перебор параметров (числа компонентов, их ширины, относительное расположение и интенсивность) может быть довольно длительным, а окончательное решение тем не менее остается неоднозначным.

Так в /1/ приведены три двухкомпонентные модели источника Р 0043-42 (табл.1), сильно отличающиеся по своим параметрам, но дающие близкие среднеквадратичные ошибки  $\Delta$  отклонения  $\Gamma_{fit}$  от  $\Gamma_{exp}$  (среднеквадратичная ошибка функции видности равна 0,065).

При таком подборе предполагается также, что компоненты имеют гауссову форму, а это не всегда соответствует действительному распределению.

В МФМ используются аналитические свойства функции  $G(u)$ , позволяющие связать ее модуль  $\Gamma(u)$  и фазу  $\varphi(u)$  через преобразования Гильберта /3/:

$$\varphi(u) = -\frac{2u}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\ln \Gamma(u') - \ln \Gamma(u)}{u'^2 - u^2} du', \quad (1)$$

$$\ln \frac{\Gamma(u)}{\Gamma(0)} = \frac{2u}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{u\varphi(u') - u'\varphi(u)}{u'(u'^2 - u^2)} du'. \quad (2)$$

По известным значениям  $\Gamma(u)$  можно определить  $\varphi(u)$  либо с помощью квадратурной формулы (1), либо из интегрального уравнения (2). Результаты получаются очень близкими. В /2-3/ исследовано влияние шумов, ограниченности интервала наблюдений  $\Delta u$  и ряд других вопросов, связанных с применением МФМ.

Из всех источников, упомянутых в работе /1/, мы выбрали 15 объектов с наиболее полной информацией о  $\Gamma(u)$  и  $\varphi(u)$ . Проведенное сравнение восстановленных профилей этих радиоисточников (рис. 1-3) позволяет сделать следующие выводы.

1. Минимальная фаза существенно отличается как от измеренной фазы, так и от фазы, полученной методом подбора, хотя все три функции качественно сходным образом "реагируют" на характерные участки

Таблица 1

Модель	Компонент	S, Ян	Угловой диаметр	Положение	$\Delta$
1	A	4,9	0,6	-0,47	0,05
	B	2,9	0,6	+0,80	
2	A	4,0	0,4	-0,48	0,07
	B	3,9	1,1	+0,74	
3	A	5,2	0,8	-0,42	0,06
	B	2,7	0,0	+0,81	

кривой  $\Gamma(u)$ . Интересно, однако, отметить, что при большом различии фаз восстановленные тремя методами профили во многих случаях оказываются очень близкими. По-видимому, оказывается достаточным уверенно знать одну из характеристик функции видности (модуль или фазу), чтобы получить приемлемое восстановление. Этот вывод согласуется с результатами исследований по восстановлению двумерных изображений при точно заданной фазе и произвольном поведении модуля  $\Gamma(u,v)$  /4/.

2. В ряде случаев МФМ дает более точное восстановление. Минимально-фазовый профиль ЗС 130 содержит два хорошо разрешенных компонента приблизительно одинаковой интенсивности и одинаковых угловых размеров, что лучше согласуется с двумерным распределением из работы /5/, чем профили, приведенные в /1/. Полученный нами профиль Р 0349-27 также намного ближе к точному распределению, полученному в /6/ по специальной методике с коррекцией данных о фазе  $\varphi(u)$  при учете комплексных нулей функции видности.

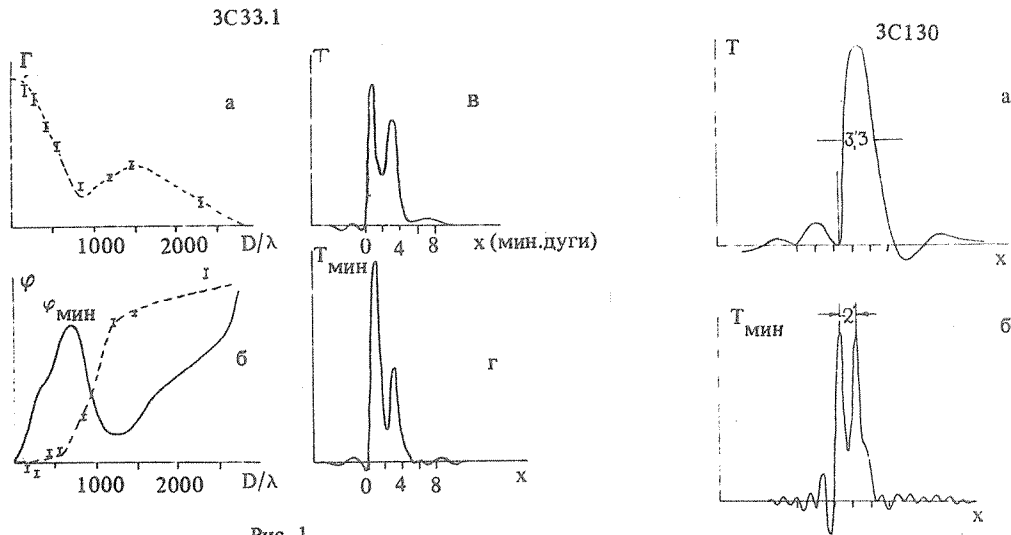


Рис. 1

Рис. 1. Измеренная (точки) и найденная методом подбора (пунктир) функция видности (а и б) и распределения яркости источника ЗС 33.1: полученное методом главного решения (в) и минимально-фазовое (г);  $x$  – угловое расстояние в минутах.

Рис. 2. Распределение яркости в радиостанции ЗС 130: а) главное решение; б) минимально-фазовый профиль. Карта (в) заимствована из работы /5/ (позиционный угол  $40^\circ$ ).

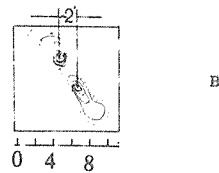


Рис. 2

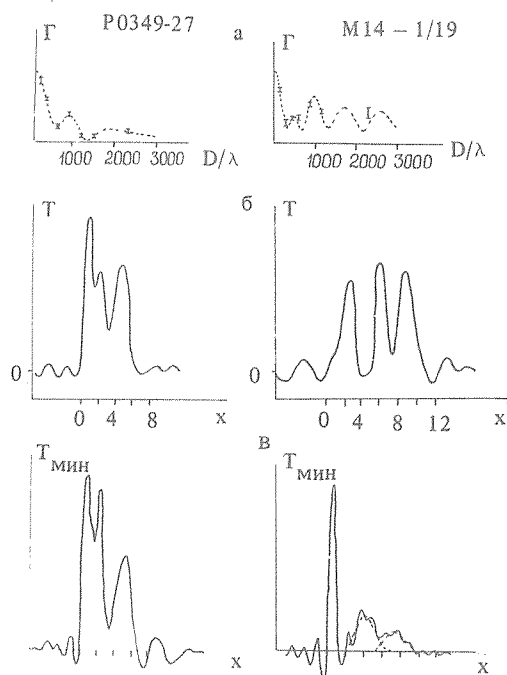


Рис. 3. Значения  $\Gamma(u)$  (пунктир – наилучшая модель) (а) и распределения яркости двух радиосточников: главное решение (б); полученное с помощью МФМ (в).

3. Проведенное сравнение вновь показало, что МФМ выделяет наиболее интенсивный компонент с самым крутым фронтом, восстанавливая его первым. При этом число компонентов и их угловые размеры сохраняются.

В качестве общего вывода можно заключить, что МФМ может успешно конкурировать с другими известными методами. Его несомненные преимущества перед методом подбора состоят в том, что он дает однозначное и прямое восстановление, а основными достоинствами по сравнению с главным решением являются возможность восстановления при отсутствии информации о фазе ФВ и необходимость процедуры интерполяции только для  $\Gamma(u)$ , что уменьшает ошибки восстановления.

Авторы благодарны А.А. Гальченко и Л.Ф. Ланской за помощь в вычислениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fomalont E. V. *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, No 138, 15, 203 (1968).
2. Гальченко А. А. и др. *Краткие сообщения по физике ФИАН*, № 2, 8; 24 (1982); № 9, 23 (1982); № 3, 11 (1984).
3. Косарев И. Г., Малов И. Ф., Фролов В. А. *Препринт ФИАН № 90, 1980; Краткие сообщения по физике ФИАН*, № 7, 15 (1982).
4. Оппенхайм А. В., Лим Дж. С. *ТИИЭР*, 69, 39 (1981).
5. Högbom J. A., Carlsson I. *Astron. Astrophys.*, 34, 341. (1974).
6. Bates R. H. T., Napier P. J. *Monthly Notices R.A.S.*, 158, 405 (1972).

Поступила в редакцию 24 апреля 1986 г.