

Министерство высшего и среднего специального образования  
РСФСР

Ордена Трудового Красного Знамени  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ

Препринт № 46

В.И.Турчин

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НА ЭЦВМ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНГЕНН  
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФАЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ  
С ПОМОЩЬЮ ИСТОЧНИКА В ЗОНЕ ФРЕНЕЛЯ  
1. АЛГОРИТМЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММ

В ы п у с к 1

г.Горький,  
1 9 7 4

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ НА ЭЦВМ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФАЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИСТОЧНИКА В ЗОНЕ ФРЕНЕЛЯ

### I. Алгоритмы и организация программ

Одним из методов измерения диаграммы направленности антенны, получивших развитие в последнее время, является фазометрический (голографический) метод [1-3], в котором измеряется поле (или голограмма поля) антенны на участке сферы в зоне Френеля, а затем по результатам измерения на основании принципа Гюйгенса ищется поле в дальней зоне (на сфере бесконечно большого радиуса). Для обработки результатов измерений можно использовать аналоговые методы [1,4,5], однако, в ряде случаев наиболее эффективным является обработка результатов на ЭЦВМ [2,3]. Ниже будут рассмотрены вопросы организации этих вычислений на ЭЦВМ, структура программ и инструкция к их использованию<sup>+</sup>).

Алгоритмы для вычисления диаграммы направленности по результатам измерений в ближней зоне приведены в работе [3]. В этой работе рассматриваются два способа вычислений: а) комплексное преобразование Френеля, б) пространственная фильтрация, реализуемая в виде свертки результатов измерения с некоторой функцией.

При составлении программ были учтены оба способа вычисления диаграммы направленности (см. разд. II).

Для обработки результатов измерений было составлено 8 программ: HFR-1, HFR-2, FFR-1, FFR-2, HSF-1, HSF-2, FSF-1, FSF-2.

<sup>+</sup>) Тексты программ на языке АЛГОЛ-60 приводятся во второй части репринта [7].

Начальная буква H ( *hologramm* ) или F ( *field* ) указывает на характер обрабатываемого массива чисел (голограмма или поле). Две последующие буквы FR ( *Fresnel* ) или SF ( *space filtration* ) указывают на тип обработки (преобразование Френеля или пространственная фильтрация). Цифра указывает на вид выдаваемой информации о диаграмме направленности (подробнее см. разд. III).

### I. Исходные данные.

Для программ HFR , HSF исходными данными являются следующие:

1) голограмма,  $\| \gamma_{mn} \|$ , представляющая собой двумерную прямоугольную матрицу, записанную на перфокартах в виде последовательности строк (будем считать, что пространственная модуляция осуществляется вдоль строк);

2) R - расстояние между источником и центром пересечения азимутальных и угломестных осей исследуемой антенны;

3)  $\lambda$  - длина волны;

4)  $\Delta \Phi$  - изменение фазы при переходе от столбца к столбцу;

5)  $K_1$  - число элементов в строке;

6)  $K_2$  - число элементов в столбце;

7)  $\Delta \xi_1$  - шаг в строке;

8)  $\Delta \xi_2$  - шаг в столбце.

Если строка соответствует движению антенны по азимутальной координате (при фиксированной угломестной), то

$$\Delta \xi_1 = \Delta A \cos h_0, \quad \Delta \xi_2 = \Delta h.$$

Здесь  $\Delta A$ ,  $\Delta h$  - угловое расстояние между точками, в которых производится измерение голограммы по азимутальной и угломестной координате;  $h_0$  - угол места, соответствующий направлению

на центр голограммы. Если, наоборот, строка соответствует движению антенны по угломестной координате, то

$$\Delta \xi_1 = \Delta h, \quad \Delta \xi_2 = \Delta A \cosh h_0.$$

Для программ  $FFR$ ,  $FSF$  исходными данными являются:

1) поле, представляющее собой две двумерные прямоугольные матрицы  $\|a_{mn}^z\|$  и  $\|a_{mn}^i\|$  - соответственно реальную (амплитуда, умноженная на косинус фазы) и мнимую (амплитуда, умноженная на синус фазы) части поля. Обе матрицы регистрируются на перфокартах в виде последовательности строк;

2) параметры  $R$ ,  $\lambda$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $\Delta \xi_1$ ,  $\Delta \xi_2$ , те же, что и для голограмм;

3) параметр  $\Delta \phi$  для полей отсутствует.

## II. Способы вычисления диаграммы направленности, используемые в программах

В приведенных здесь программах вычисляется матрица  $\|f_{kl}\|$  размерности  $b_1 \times b_2$ , элементами которой являются ненормированные значения диаграммы направленности по мощности, вычисленные в дискретных точках с угловым шагом  $\Delta \xi_1^D$ ,  $\Delta \xi_2^D$  (по азимутальной и угломестной координате, соответственно, если строка матриц  $\|a_{mn}^z\|$ ,  $\|a_{mn}^i\|$  соответствует движению антенны по азимутальной координате при фиксированной угломестной). Ниже мы приведем различные способы вычисления матрицы

$\|f_{kl}\|$ .

### I. Программы $HFR$ , $FFR$ .

Вычисление матрицы  $\|f_{kl}\|$  здесь осуществляется по формуле, представляющей собой двумерное дискретное преобразование Фурье, к которому сводится преобразование Френеля [3]

$$f_{kl} = \left| \sum_{m=0}^{k_2-1} \sum_{n=0}^{k_1-1} h_{mn} \exp \left\{ i\pi \left[ \Gamma_2 m + \Gamma_1 n + q_2 (m - k_2/2)^2 + q_1 (n - k_1/2)^2 - 2 \left( \frac{n\ell}{b_1} + \frac{mk}{b_2} \right) \right] \right\} \right|^2 ; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} k &= 0, 1, \dots, b_2 - 1 ; \quad \ell = 0, 1, \dots, b_1 - 1 ; \\ q_1 &= \frac{R}{\lambda} \Delta \xi_1^2 ; \quad q_2 = \frac{R}{\lambda} \Delta \xi_2^2 \end{aligned} \quad (2)$$

$$b_1 = 2^{n_1}, \quad b_2 = 2^{n_2} ; \quad n_{1,2} = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Матрица  $h_{mn}$

$$h_{mn} = \begin{cases} \delta_{mn} & \text{для программ HFR} \\ f_{mn}^R & \text{для программ FFR} \end{cases} ,$$

где  $f_{mn}^R = a_{mn}^z + i a_{mn}^i$ .

Угловое расстояние  $\Delta \xi_{1,2}^D$  между вычисленными точками диаграммы направленности определяется по формуле:

$$\Delta \xi_{1,2}^D = \frac{\lambda}{R \Delta \xi_{1,2} b_{1,2}} \quad (4)$$

Индексы  $(\ell_c, k_c)$ , соответствующие центральной точке диаграммы направленности, задаются с помощью параметров  $\Gamma_{1,2}$

$$\ell_c = \left( \Gamma_1 + \frac{\Delta \Phi (2 \text{рад})}{180} \right) \frac{b_1}{2} ; \quad k_c = \Gamma_2 \frac{b_2}{2} \quad (5)$$

для программ HFR и  $b_c = \Gamma_1 \frac{b_1}{2} ; \quad k_c = \Gamma_2 \frac{b_2}{2} \quad (6)$

для программ FFR +).

Так, например, чтобы поместить центр диаграммы направленности

+ ) При этом мы предполагаем, что центр поля в ближней зоне соответствует индексам  $n_c, m_c$

$$n_c = \frac{k_1 - 1}{2} ; \quad m_c = \frac{k_2 - 1}{2}$$

в "центр" матрицы  $\|f_{kl}\|$  (т.е.  $l_c = \frac{b_1}{2}$ ,  $k_c = \frac{b_2}{2}$ ) необходимо принять

$$\Gamma_1 = 1 - \frac{\Delta\Phi(\text{град})}{180}; \quad \Gamma_2 = 1$$

при обработке голограмм и

$$\Gamma_1 = \Gamma_2 = 1$$

при обработке комплексных полей.

Замечание: при использовании параметров  $\Gamma_{1,2}$  для регулировки положения центра диаграммы направленности необходимо помнить о том, что матрица  $\|f_{kl}\|$  является периодической (если продлить ее вычисление вне интервала  $0 \leq l \leq b_1 - 1$ ;  $0 \leq k \leq b_2 - 1$ ) с периодами  $b_1$ ,  $b_2$ , так что изменение параметров приводит лишь к перераспределению информации внутри матрицы  $\|f_{kl}\|$ .

Вычисление  $\|f_{kl}\|$  на основании формулы (I) производится с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ) для вычисления коэффициентов  $A_j$

$$A_j = \sum_{i=0}^{b-1} b_i e^{-2\pi i \frac{ij}{b}}; \quad i = 0, 1, \dots, b-1; \quad j = 0, 1, \dots, b-1; \quad (7)$$

$$b = 2^n; \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Двумерное преобразование Фурье строится на основе (7) обычным для вычисления двойных сумм способом. Процедура вычисления (7) с использованием алгоритма БПФ на языке АЛГОЛ-60 взята из работы [6].

## 2. Программы HSF, FSF

Вычисление матрицы  $\|f_{kl}\|$  производится по формуле, представляющей собой дискретную свертку

$$f_{k\ell} = \left| \sum_{n=0}^{k_1-1} \sum_{m=0}^{k_2-1} h_{mn} A_1(|d_1 n - \ell - d_1 (k_1 - 1)/2|) \times \right. \\ \left. \times A_2(|d_2 m - k - d_2 (k_2 - 1)/2|) \right|^2 \quad (8)$$

$$k = 0, 1, \dots, \beta_2 - 1; \quad \ell = 0, 1, \dots, \beta_1 - 1$$

$$\beta_1 = (k_1 - 1)d_1 + 1; \quad \beta_2 = (k_2 - 1)d_2 + 1; \quad d_{1,2} = 1, 2, 3, \dots$$

$$h_{mn} = \begin{cases} \gamma_{mn} \exp(i\pi n \Delta\phi(\text{рад})/180) & \text{для программ HSF} \\ f_{mn}^R & \text{для программ FSF} \end{cases}$$

При вычислении по формуле (8) предполагается, что центральная точка измеренного поля или голограммы соответствует элементу матрицы  $\|h_{mn}\|$  с индексами  $n_c, m_c$

$$n_c = (k_1 - 1)/2; \quad m_c = (k_2 - 1)/2$$

т.е. центр измеренного поля или голограммы помещен в "центр" матрицы  $\|h_{mn}\|$ . Кроме того, предполагается, что  $k_{1,2}$  - нечетные числа. Центральная точка диаграммы направленности в этом случае соответствует элементу матрицы  $\|f_{k\ell}\|$  с индексами  $k_c, \ell_c$

$$\ell_c = (\beta_1 - 1)/2; \quad k_c = (\beta_2 - 1)/2.$$

Шаги  $\Delta\xi_{1,2}^D$  определяются по формуле

$$\Delta\xi_{1,2}^D = \frac{\Delta\xi_{1,2}}{d_{1,2}} \quad (9)$$

Вектора  $A_{1,2}(\ell)$ ,  $\ell = 0, 1, 2, \dots$

вычисляются по следующей формуле

$$A_{1,2}(\ell) = \frac{1}{G_0} \sqrt{\frac{\pi^2 \sigma^4}{1 + (\delta \sigma^2)^2}} \sum_{k=-k_{\max}}^{k_{\max}} \exp \left[ -\left(\frac{kD}{\sigma}\right)^2 + \frac{(kD - i \frac{\ell \Delta\xi_{1,2}}{d_{1,2}} \sigma^2)^2}{\sigma^2 (1 - i \delta \sigma^2)} \right] \quad (10)$$

Здесь  $\delta = \frac{\pi}{R\lambda}$  ;

Формула (10) для вычисления  $A_{1,2}(\ell)$  соответствует простран-

ственному фильтру  $G(x, y)$  (см. [3]) ( $x, y$  здесь - пространственная координата в апертурной плоскости), взятому в виде:

$$G(x, y) = G(x) G(y);$$

$$G(x) = \frac{1}{G_0} \sum_{k=-K_{\max}}^{K_{\max}} \exp \left[ - \left( \frac{x - kD}{\sigma} \right)^2 \right]; \quad (II)$$

$$G_0 = \sum_{k=-K_{\max}}^{K_{\max}} \exp \left[ - \left( \frac{kD}{\sigma} \right)^2 \right].$$

Параметры  $K_{\max}, D, \sigma$  определяют полосу пропускания пространственного фильтра, равномерность его "частотной" характеристики и скорость ее убывания вне полосы пропускания  $\Delta x$ . Полоса пропускания  $\Delta x$

$$\Delta x \approx 2K_{\max} D.$$

Необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\Delta x > D_A,$$

где  $D_A$  - размер апертуры антенны.

Для вычисления диаграммы направленности в произвольной точке использовался следующий метод интерполяции:

Пусть вместо "дискретной" системы координат  $(l, k)$

$l = 0, 1, \dots, b_1 - 1; k = 0, 1, \dots, b_2 - 1$  введена непрерывная система координат  $(x, y)$   $0 \leq x \leq b_1 - 1; 0 \leq y \leq b_2 - 1$ .

Диаграмма направленности  $f(x, y)$  ( $f(x=l, y=k) = f_{kl}$ ) в произвольной точке  $(x, y)$  вычисляется по формуле

$$f(x, y) = (b_3 - 2b_2 + b_1) y^2 / 2 + (b_3 - b_1) y / 2 + b_2, \quad (I2)$$



где

$$b_i = (a_{i3} - 2a_{i2} + a_{i1})x_1^2/2 + (a_{i3} - a_{i1})x_1/2 + a_{i2},$$

где

$$x_1 = x - \bar{l}; \quad y_1 = y - \bar{k}; \quad \bar{k} = \text{entier}(y); \quad \bar{l} = \text{entier}(x);$$

$$a_{ij} = f_{\bar{k}-2+i, \bar{l}-2+j}; \quad i, j = 1, 2, 3.$$

Таким образом, с учетом процедуры (I2) вычисляемую диаграмму направленности можно считать непрерывной функцией, заданной в области  $0 \leq x \leq b_1 - 1; 0 \leq y \leq b_2 - 1$ .

### III. Типы вывода информации о диаграмме направленности

В силу большого объема выдаваемой числовой информации целесообразно выводить информацию о диаграмме направленности двумя способами: во-первых, должны выпечатываться таблицы сечений диаграммы направленности, необходимые для точной количественной оценки результатов (уровня боковых лепестков, ширины главного лепестка и т.д.) и, во-вторых, необходим такой способ вывода, который позволил бы сразу (пусть даже с некоторой ошибкой) просмотреть всю выводимую информацию. Последний способ вывода реализовался в виде специальных символьных таблиц (речь о которых пойдет ниже) +).

Исходя из вышесказанного, каждый способ вычисления диаграммы направленности был снабжен двумя типами вывода (тип 1 и тип 2).

---

+ ) Для вывода информации в программах использовалось широко распространенное алфавитно-цифровое печатающее устройство АЦПУ-128.

I. В первом типе выдаваемой информации (программы HFR -I, FFR -I, HSF -I, FSF -I) информация о диаграмме направленности выводится в виде двух рельефных диаграмм (линий равного уровня), различающихся лишь масштабом.

Каждая рельефная диаграмма представляет собой символьную таблицу, занимающую 127 x 83 позиции АЦПУ (по горизонтали и вертикали соответственно), причем каждый элемент таблицы занимает одну позицию (т.е. представляет собой один символ). Масштаб печатаемой рельефной диаграммы направленности по вертикали и горизонтали одинаков (при этом принималось, что отношение расстояний между позициями по вертикали и горизонтали АЦПУ  $\eta = 1,52 : 1$ ).

В программе осуществляется вывод следующих линий уровня  $\varepsilon = 2$  дБ, 0,5 ( $\approx 3$  дБ), 4 дБ, 6 дБ, 8 дБ, 10 дБ, 15 дБ, 20 дБ, 25 дБ, 30 дБ.

Центральной точке рельефной диаграммы направленности (63-я позиция по горизонтали и 41-я по вертикали) соответствует координата  $(x^c, y^c)$  диаграммы направленности  $f(x, y)$ , задаваемая извне (программа HFR -I), либо принимающая значение центральной координаты на диаграмме направленности  $x^c = b_1/2$ ;  $y^c = b_2/2$ .

По интерполяционной формуле (I2) вычисляются значения диаграммы направленности  $\varphi_{ij}$

$$\varphi_{ij} = f(x^c + \Delta x (i - 63), y^c + \Delta y (j - 41) / \text{sup}^+)$$
$$i = 0, 1, \dots, 126 ; j = 0, 1, \dots, 82 .$$

---

+) SUP - точная верхняя грань (максимальное значение) функции  $f(x, y)$ .

Величина шага  $\Delta x$  при этом задается:

$$\Delta x = \Delta \xi / \Delta \xi_1^D$$

$\Delta \xi$  — угловое расстояние между позициями по горизонтали (масштаб печатаемой рельефной диаграммы направленности). Величина шага  $\Delta y$  вычисляется в программе исходя из того, чтобы масштаб по вертикали и горизонтали печатаемой рельефной диаграммы направленности был одинаков:

$$\Delta y = \Delta \xi / \Delta \xi_2^D \eta.$$

Если для позиций с номером  $(i, j)$  выполняется условие

$$\varphi_{i+1, j} \leq \varepsilon_k < \varphi_{i, j} \quad \text{или} \quad \varphi_{i+1, j} \geq \varepsilon_k > \varphi_{i, j}$$

или

$$\varphi_{i, j+1} \leq \varepsilon_k < \varphi_{i, j} \quad \text{или} \quad \varphi_{i, j+1} \geq \varepsilon_k > \varphi_{i, j},$$

где  $\varepsilon_k$  — величина  $k$ -ого уровня, то в этой позиции печатается символ, соответствующий  $k$ -ому уровню, в противном случае в этой позиции ничего не печатается ("печатается пробел").

Конфигурация напечатанных таким способом символов будет соответствовать конфигурации линии равного уровня функции  $f(x, y)$  (с точностью до величины  $\Delta x$ ).

Помимо линий равного уровня на рельефной диаграмме направленности печатаются линии минимумов (где производные  $\partial f / \partial x$  или  $\frac{\partial f}{\partial y}$  меняют знак). Условие, при котором в позиции с номером  $(i, j)$  печатается символ, соответствующий минимуму, было выбрано в следующем виде:

$$\varphi_{i+1, j} \geq \varphi_{i, j} < \varphi_{i-1, j}$$

или

$$\varphi_{i, j+1} \geq \varphi_{i, j} < \varphi_{i, j-1}.$$

Отдельный символ печатается в позиции, соответствующей точке с

максимальным значением диаграммы направленности. В таблице I приведены символы, на наш взгляд наиболее удобные для обозначения линий равного уровня, минимумов и точки с максимальным значением диаграммы направленности.

Таблица I

Содержание символа	:	Символ
уровень 2 дБ		I
0,5 (3 дБ)		*
4 дБ		2
6 дБ		3
8 дБ		4
10 дБ		5
15 дБ		6
20 дБ		7
25 дБ		8
30 дБ		9
символ минимума		.
символ; соответствующий точке с максимальным значением диаграммы направленности		Ц

После каждой диаграммы направленности печатается текст

ПОЗИЦИЯ В МИНУТАХ:

и после текста расстояние  $\Delta \xi$  в угловых минутах между соседними позициями. Угловые размеры печатаемой рельефной диаграммы направленности составляют, таким образом,  $126 \Delta \xi \times 82 \Delta \xi$  по горизонтали и вертикали соответственно. На рис. I приведен

образец типа выдачи информации I (главный и первый боковой лепестки диаграммы направленности 7-ми метровой параболической антенны на волне 10 см). Как видно из рис.1, даже при беглом просмотре полученных результатов можно оценить степень деформации главного лепестка, его ширину, уровень боковых лепестков и т.д.

Программа печати рельефной диаграммы направленности оформлена в виде блока на языке АЛГОЛ-60 применительно к входному языку транслятора ТА-2М. Текст программы (см.[7]) можно взять из текста любой из программ с типом выдачи I (например, в программе FFR-I текст блока выдачи информации типа I (печати рельефной диаграммы) начинается с 22 строки (считая сверху) на стр.25 второй части препринта и заканчивается на 16 строке на стр.27. На этой строке к блоку относится лишь первое END, закрывающее блок)

Перед входом в блок должны быть описаны следующие переменные:

REAL SUP, D1, D2, KT, NT, Kφ, Nφ; <sup>+</sup>

INTEGER B1; ARRAY W [φ: b<sub>1</sub> × b<sub>2</sub> - 1];

Этим переменным должны быть присвоены следующие значения:

SUP - точная верхняя грань (максимальное значение) диаграммы направленности  $f(x, y)$ ;  $0 < x < b_1 - 1$ ;  $0 < y < b_2 - 1$ .

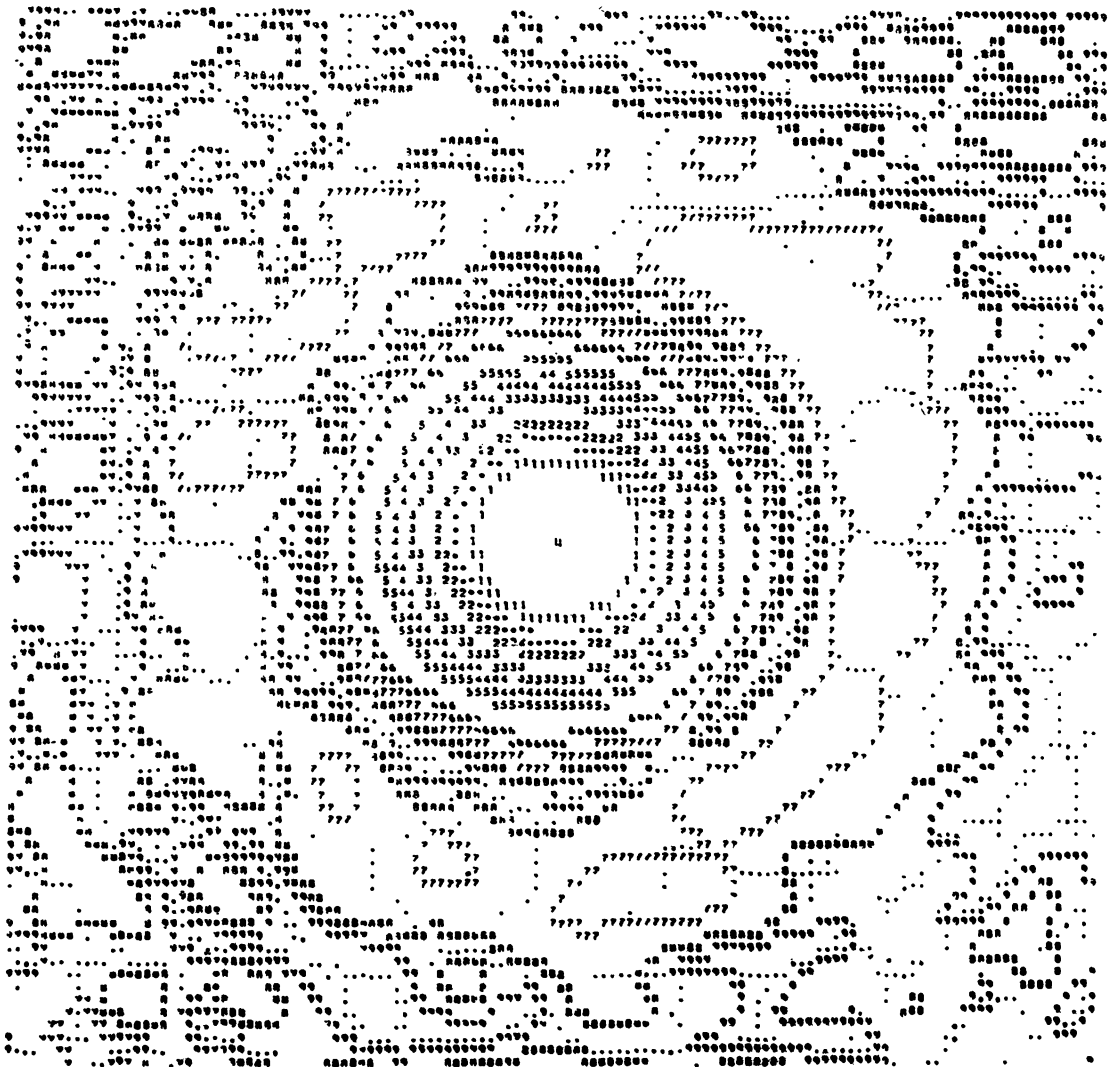
Nφ, Kφ - координаты точки, в которых диаграмма направленности принимает максимальное значение

$SUP = f(Nφ, Kφ)$

NT, KT - координаты центра печатаемой картины (т.е. 63-я

---

<sup>+</sup>) В программах WFR-I, FFR-I. В программах HSF-I, FFF-I идентификаторы D1, D2 должны быть заменены на W1, W2.



масштаб 1:2500

Рис. 1 Образец символической таблицы - рельефной диаграммы направленности в I-ом типе выдачи информации.

позиция по горизонтали и 4I-ая по вертикали).

$D_1, D_2$  - шаг (в радианах) между столбцами и строками вычисленной диаграммы направленности  $(\Delta \xi_1^D, \Delta \xi_2^D)$ .

$W$  - массив значений вычисленной диаграммы направленности  $\|f_{kr}\|$ , расположенной по строкам.

$B_1$  - число элементов в строке матрицы  $\|f_{kr}\| - B_1 - \text{минус } I$ .

При работе программ, содержащих блок выдачи информации типа I необходим ввод следующих параметров (см. таблицу 2)

Таблица 2

Название параметра	Тип (простая переменная или массив)	Число элементов в массиве	Содержание параметра (числа или коды)
U1	простая переменная	-	число
U2	простая переменная	-	число
CONT	массив	3	коды
SIMB	массив	I3	коды

Порядок ввода соответствует порядку расположения параметров в таблице.

Вводимые параметры содержат следующую информацию:

Простые переменные U1, U2 - расстояние в угловых минутах между позициями по горизонтали в I-ой и 2-ой печатаемых рельефных диаграммах. направленности.

+ ) Здесь и далее название параметра совпадает с идентификатором соответствующей переменной в программе [7].

Массив CONT содержит текст

ПОЗИЦИЯ <ПРОБЕЛ> В <ПРОБЕЛ> МИНУТАХ :

или другой текст по выбору, содержащий 18 7-разрядных ко-  
дов АЦПУ (в каждой строке начиная с 42 разряда)

Массив SIMB

7 младших разрядов каждой строки массива содержит 7-ми разряд-  
ный код АЦПУ символа, которым печатается определенный уровень  
(см. таблицу 3).

Таблица 3

Номер элемен- : Информация, соответствующая символу,  
та массива : помещенному в элементе массива с  
: соответствующим номером

I	Символ, соответствующий уровню 0,5 (≈ 3 дБ)
2	" "
3	" "
4	" "
5	" "
6	" "
7	" "
8	" "
9	" "
10	" "
11	Символ, соответствующий максимальному значению на диаграмме направленности
12	Символ, соответствующий минимуму
13	Пробел при печати (код пробела АЦПУ)



2. Во втором типе вывода информации (программы HFR-2, FFR-2, NSF-2, FSF-2) вы печатаются произвольные сечения диаграммы направленности в уровнях и децибелах и печатается символьная таблица определенного участка диаграммы направленности с произвольным масштабом по азимутальной и угломестной координате. Расположение информации на листе АЦПУ показано на рис.2.

Сечения располагаются на диаграмме направленности следующим образом: задается точка  $(x^0, y^0)$ , являющаяся центром сечения и угол наклона  $\alpha$  к координате X. Шаг  $\Delta \xi$ , с которым вычисляются значения диаграммы направленности  $\varphi_i$  в сечении, задается. Значения  $\varphi_i$

$$\varphi_i = f(x^0 + i \Delta x \sin \alpha, y^0 + i \Delta y \cos \alpha)$$
$$i = \begin{cases} 0, 1, 2, \dots \\ -1, -2, \dots \end{cases} \quad \Delta x = \frac{\Delta \xi}{\Delta \xi_1} \quad ; \quad \Delta y = \frac{\Delta \xi}{\Delta \xi_2}$$

вычисляются с использованием интерполяционной формулы (I2). На печать выдаются таблицы нормированных значений  $\varphi'_i$  в уровнях

$$\varphi'_i = \varphi_i / \text{SUP}$$

и значений  $\varphi''_i$  в децибелах ( $\varphi''_i = 10 \lg \varphi'_i$ ). Чтение в таблице следует осуществлять вдоль строк слева направо. Перед сечением печатается заголовок, в котором указывается угол наклона  $\alpha$  сечения (в градусах), шаг  $\Delta \xi$  (в минутах), а также номер строки и номер столбца числовой таблицы значений диаграммы направленности в уровнях, соответствующие значению диаграммы направленности в точке  $(x^0, y^0)$ . Одновременно может быть напечатано не более 8 сечений.

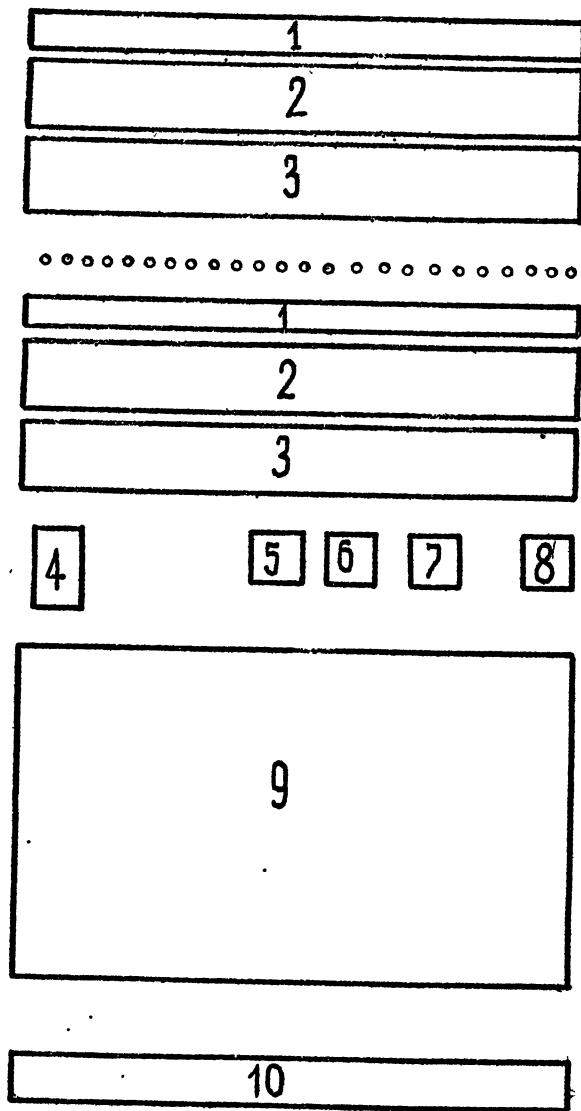


Рис. 2. Схема расположения информации на листе АЦПУ во 2-ом типе выдачи информации.

- 1 - заголовок таблицы значений диаграммы направленности в отдельном сечении
- 2 - таблица значений диаграммы в уровнях
- 3 - таблица значений диаграммы в децибелах
- 4 - максимальное значение ненормированной диаграммы направленности и масштаб (в угловых минутах) в символьной таблице по горизонтали и вертикали
- 5-8 - колонки (по два числа), в которых печатаются номера позиций по горизонтали и вертикали различных точек на диаграмме направленности, представленной в виде символьной таблицы.
- 9 - символьная таблица
- 10 - таблица значений интервалов градаций и соответствующих каждой градации символов.

Далее печатается символьная таблица значений выбранного участка диаграммы направленности. Символьная таблица строится следующим образом: вся шкала значений элементов  $\varphi_{ij} / \text{SUP}$  <sup>+) )</sup> ( $0 \leq \varphi_{ij} / \text{SUP} \leq 1$ ) разбивается на  $K$  градаций  $\varepsilon_k$

$$0 = \varepsilon_0 < \varepsilon_1 < \dots < \varepsilon_K = 1.$$

Если

$$\varepsilon_k \leq \varphi_{ij} / \text{SUP} < \varepsilon_{k+1}$$

т.е. значение  $\varphi_{ij} / \text{SUP}$  попадает в  $k$ -ый интервал, в позиции с номером  $(i, j)$  печатается  $k$ -ый символ (например, буква или знак).

Ввиду того, что зрительное восприятие различных символов неодинаково по плотности (сравни, например, букву Ж и точку), такую таблицу можно в некотором смысле рассматривать как яркостную фотографическую картину, удобную для быстрой оценки полученных результатов.

Масштаб таблицы по вертикали и горизонтали, а также положение центра на диаграмме направленности  $(x^k, y^k)$  может быть задан извне путем введения соответствующих параметров. Кроме того, в нулевой позиции по горизонтали печатается отдельный символ, облегчающий счет номеров позиций по горизонтали.

Непосредственно перед символьной таблицей печатается слева направо 5 колонок цифр (под номерами 4, 5, 6, 7, 8 на рис. 2). Первая слева (под номером 4) состоит из 3-х чисел. Первое число сверху - максимальное значение ненормированной

---

+)  $\varphi_{ij}$  - значения диаграммы направленности, вычисляемое с помощью интерполяционной формулы (12):

$$\varphi_{ij} = f(x^k + \Delta x_i, y^k + \Delta y_j); \quad i = \begin{cases} 0, 1, 2, \dots \\ -1, -2, \dots \end{cases}; \quad j = \begin{cases} 0, 1, 2, \dots \\ -1, -2, \dots \end{cases}$$

диаграммы направленности. Два последующих числа — шаги в угловых минутах между двумя соседними позициями по горизонтали и вертикали на символьной таблице. Остальные колонки (под номерами 5–8 на рис.2) содержат по два числа. Первое указывает номер позиции по горизонтали и второе — номер позиции по вертикали на символьной таблице, соответствующие следующим точкам на диаграмме направленности:

— центру символьной таблицы ( $x^k, y^k$ ) на диаграмме направленности (колонка № 5);

— точке ( $x^0, y^0$ ), через которую проходят печатаемые сечения диаграммы направленности (колонка № 6);

— точке, в которой диаграмма направленности принимает максимальное значение (колонка № 7);

— центральной точке области ( $0 < x < \beta_1 - 1, 0 < y < \beta_2 - 1$ ), в которой вычисляется диаграмма направленности (колонка № 8).

После символьной таблицы печатается таблица (под номером 10 на рис.2) символов, используемых при построении символьной таблицы и соответствующих им границ интервалов, на которые разбивается область значений нормированной диаграммы направленности  $[0, 1]$ .

Программа 2-го типа выдачи информации оформлена (также как и программа 1-го типа выдачи информации — печати рельефных диаграмм) в виде блока на языке АЛГОЛ-60 применительно к входному языку транслятора ТА-2М.

Текст программы можно взять из текста любой программы (см.7) с типом выдачи 2 (например, в программе FFR — 2 текст блока начинается с 3 строки (считая сверху) на стр.32 второй части препринта 7 и заканчивается на строке II на стр.35. В последне

строке к блоку относятся лишь два первых END ; перед входом в блок должны быть описаны следующие переменные:

```
REAL PI, SUP, NФ, КФ, D1, D2;      +)
INTEGER B1, B2; ARRAY W [Ф: В1 × В2 - 1]
```

Переменным перед входом в блок должны быть присвоены следующие значения: NФ, КФ, D1, D2, SUP, B1, W - те же, что и в блоке выдачи информации типа I (печать рельефной диаграммы), PI - число π (3,141593), B2 - число строк матрицы || f<sub>kl</sub> || - В<sub>2</sub> - минус 1.

При работе программ с типом вывода информации 2 необходим ввод следующих параметров (см. таблицу 4).

Таблица 4

Название параметра <sup>++)</sup>	Тип (простая переменная или массив)	Число элементов в массиве	Содержание параметра (числа или коды)
DATE	массив	10	числа
ALF	массив	8	числа
LVL	массив	II	числа
SIMB	массив	II	коды
CONT	массив	8	коды

Порядок ввода соответствует порядку расположения параметров в таблице.

+ ) В программах HFR-2, FFR-2. В программах NSF-2, FSF-2 идентификаторы D1, D2 следует заменить на III, III2.

++) Название совпадает с идентификатором соответствующей переменной в программе [7].

Вводимые параметры содержат следующую информацию:

Массив DATE. Информация, содержащаяся в массиве, указана в таблице 5.

Таблица 5

Номер элемента массива :	Значение :	Ограничение на величину :
1 :	2 :	3 :
1	Число выводимых сечений плюс $\delta$ +)	Число выводимых сечений $\leq 8$
2	Шаг $\Delta\xi$ (в угловых минутах), с которым вычисляются значения диаграммы направленности в сечении.	-
3	$X^0$ или, если значение элемента $> 10^4$ , то $X^0$ принимается равным $X^m$ , где $X^m$ - координата точки, в которой диаграмма направленности принимает максимальное значение.	Не имеет смысла задание в интервале $[\beta_1, -1, 10^4]$
4	$Y^0$ или, если значение элемента $> 10^4$ , то $Y^0$ принимается равным $Y^m$ , где $Y^m$ - координата точки, в которой диаграмма направленности принимает максимальное значение.	Не имеет смысла задание в интервале $[\beta_2, -1, 10^4]$
5	Число градаций в "яркостной" картине плюс $\delta$	Число градаций $\leq 10$

+ ) Величина  $\delta$  здесь и далее может принимать любые значения в интервале  $0 < \delta < 1$  (например,  $\delta = 0,2$ ).

I	2	3
6	Шаг $\Delta\xi$ (в угловых минутах) между двумя соседними позициями по горизонтали в символьной таблице.	-
7	$k \Delta\xi$ ; $k$ - отношение масштаба по вертикали к масштабу по горизонтали в символьной таблице	-
8	Координата $x^k$ центра печатаемой символьной таблицы; если значение элемента $> 10^4$ , то $x^k$ принимается равным $x^0$ .	Имеют смысл лишь значения в интервале $[0, \beta_1 - 1]$ либо значения $> 10^4$
9	Координата $y^k$ центра печатаемой символьной таблицы; если значение элемента $> 10^4$ , то $y^k$ принимается равным $y^0$ .	Имеют смысл лишь значения в интервале $[0, \beta_2 - 1]$ либо значения $> 10^4$
10	Размер печатаемой яркостной картины по вертикали (в величинах $y$ ).	-

Массив AL

В каждом элементе массива указывается угол наклона сечения в градусах. Число элементов равно числу печатаемых сечений  $\leq 8$ .

Массив LVL

Задаются границы разбиения интервала  $[0, 1]$ . В качестве первой границы должно быть указано число  $\leq 0$ , в качестве последней - число  $\geq 1$ . Число границ разбиений равно числу градаций (числу разбиений)  $+1 \leq 11$ .

### Массив SIMB

В каждом элементе массива в семи младших разрядах должен содержаться семиразрядный код АЦПУ символа, соответствующего интервалу разбиения. В последнем элементе массива должен быть указан отдельный символ, печатающий в нулевой позиции каждой строки символьной таблицы. Число элементов в массиве SIMB равно числу градаций плюс  $I \leq II$ .

### Массив CONT

Каждый элемент, начиная с 42-го разряда содержит 6 семиразрядных кодов АЦПУ, образующих текст:

УГОЛ <пробел> НАКЛОНА <пробел> <пробел> ШАГ <пробел> В  
<пробел> МИН. <пробел> <пробел> <пробел> <пробел> N  
<пробел> СТРОКИ <пробел> <пробел> <пробел> N <пробел>  
СТОЛБЦА

### IV. Порядок ввода программ с прилагаемой к ним информацией. Параметры, необходимые для счета по программам

Порядок ввода программ указан на схемах, приведенных на рис.3-5.

Массив TEXT, используемый в программах FFR-1, FFR-2 содержит 3 элемента. Каждый элемент, начиная с 42-го разряда содержит 6 семиразрядных кодов АЦПУ, образующих текст:

СПИСОК <пробел> ПАРАМЕТРОВ

Массивы PRM являются числовыми и содержат информацию, необходимую для вычисления матрицы  $\| \{k_e\} \|$ . Содержание этих массивов указано в таблицах 6-10.

Перед началом печати информации о диаграмме направленнос-



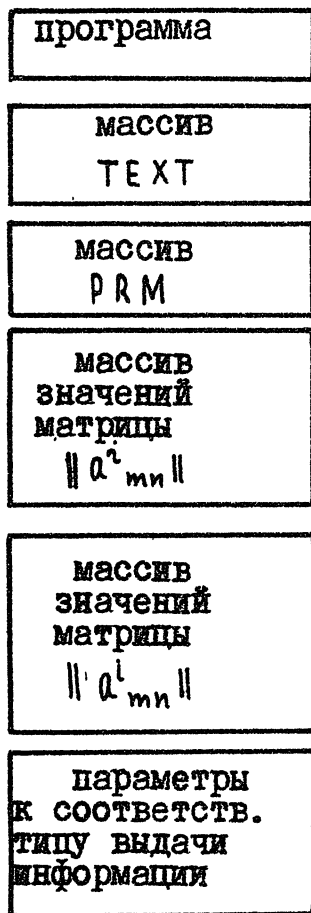


Рис. 3 Порядок ввода информации для программ FFR - I, FFR - 2.

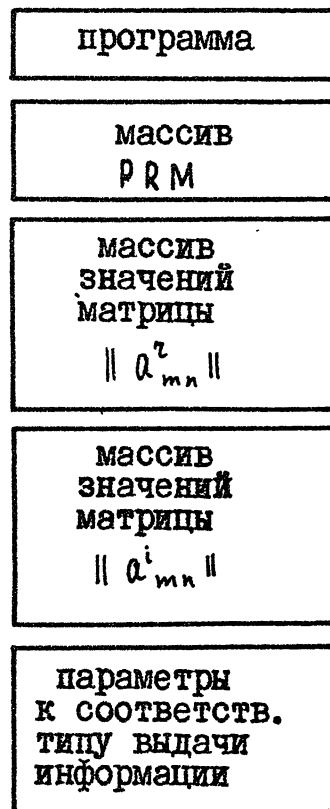


Рис. 4 Порядок ввода информации для программ FSF- I, FSF - 2.

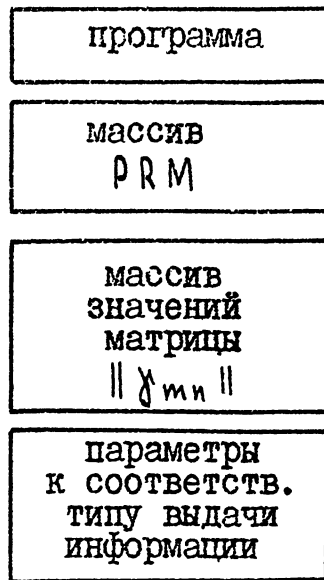


Рис. 5. Порядок ввода информации для программ HFR - 1, HFR - 2, HSF - 1, HSF - 2.

ти (соответствующей типу 1 или 2) в каждой программе происходит печать массива  $PRM$  в виде отдельной таблицы (чтение в таблице следует осуществлять по строкам слева направо). Кроме того, в программах  $FFR-2$  1,2 перед выпечатыванием массива печатается текст "список параметров", содержащийся в массиве  $TEXT$ . Помимо массива  $PRM$  в программе  $HFR-1$  дополнительно печатаются два числа - координаты  $(x^m, y^m)$ , в которых диаграмма направленности принимает максимальное значение.

Таблица 6.

Массив PRM для программы HFR -I (II элементов)

Номер эле-	Значение, присваиваемое элементу	Размерность	Ограничение на величину
I :	2	3	4
1	$k_1 - \delta$ +)	-	$k_1 \leq 61$
2	$k_2 - \delta$	-	$k_2 \leq 41$ $k_1 k_2 \leq 1300$
3	$R / \lambda$	-	$R / \lambda > 0$
4	$n_1 + \delta$	-	$n_1 \leq 7$
5	$n_2 + \delta$	-	$n_2 \leq 7$ ; $n_1 + n_2 \leq 13$ $2^{n_2+1} \times k_1 \leq k_1 k_2 + 7808$
6	$\Delta \xi_1$	радианы	$\Delta \xi_1 > 0$
7	$\Delta \xi_2$	радианы	$\Delta \xi_2 > 0$
8	$\Gamma_1$	-	-
9	$\Gamma_2$	-	-
10	$\chi^c$ (координата на диаграмме, соответствующая центру рельефной диаграммы направленности). Если значение параметра $> 10^4$ то центр рельефной диаграммы совпадает по горизонтали с координатой $\chi^m$ максимальной точки на диаграмме направленности.	-	Принимает значение либо в интервале $(0, \delta_1)$ либо $> 10^4$ .

+ ) Величина  $\delta$  может принимать любые значения в интервале  $0 < \delta < 1$ .

I	:	2	:	3	:	4
II		$y^c$ (координата на диаграмме направленности, соответствующая центру рельефной диаграммы направленности). Если значение параметра $> 10^4$ , то центр рельефной диаграммы совпадает по вертикали с координатой $y^m$ максимального значения диаграммы направленности.	-			Принимает значения либо в интервале $(0, \delta_2)$ , либо $> 10^4$ .

Таблица 7

Массив PRM для программы HFR-2 (9 элементов)

Номер элемента массива :	Значение, присваиваемое элементу :	Размерность :	Ограничение на величину :
1	$K_1 - \delta^{+)}$	-	$K_1 \leq 61$
2	$K_2 - \delta$	-	$K_2 \leq 41$ $K_1 K_2 \leq 1300$
3	$R / \lambda$	-	$R / \lambda > 0$
4	$n_1 + \delta$	-	$n_1 \leq 7$
5	$n_2 + \delta$	-	$n_2 \leq 7$ ; $n_1 + n_2 \leq 13$ $2^{n_2+1} K_1 \leq K_1 K_2 + 7808$
6	$\Delta \xi_1$	радианы	$\Delta \xi_1 > 0$
7	$\Delta \xi_2$	радианы	$\Delta \xi_2 > 0$
8	$\Gamma_1$	-	-
9	$\Gamma_2$	-	-

+ ) Величина  $\delta$  может принимать любые значения в интервале  $0 < \delta < 1$ .

Таблица 8

Массив PRM для программ FFR-I, FFR -2 (10 элементов)

Номер элемента массива :	Значение, присваиваемое элементу :	Размерность :	Ограничение на величину :
1	$k_1 - \delta$	-	$k_1 \leq 31$
2	$k_2 - \delta$	-	$k_2 \leq 31$ $k_1 k_2 \leq 441$
3	$n_1 + \delta$	-	$n_1 \leq 6$
4	$n_2 + \delta$	-	$n_2 \leq 6$
5	$R/\lambda$	-	$R/\lambda > 0$
6	$\Delta \xi_1$	радианы	$\Delta \xi_1 > 0$
7	$\Delta \xi_2$	радианы	$\Delta \xi_2 > 0$
8	$\Gamma_1$	-	-
9	$\Gamma_2$	-	-
10	Принимает значение +I или -I. Комплексное поле в этом случае $\rho_{mn}^R = a_{mn}^2 + ia_{mn}^I$ соответственно при значениях +I или -I	-	Имеет смысл два значения; +I или -I.

+ ) Величина  $\delta$  может принимать любые значения в интервале  $0 < \delta < 1$ .

Таблица 9

Массив P R M для программ NSF-I, NSF -2 (12 элементов)

Номер эл-та массива:	Значение, присваиваемое элементу	Размерность	Ограничение на величину
I	R	метры	$R > 0$
2	$\lambda$	метры	$\lambda > 0$
3	$\Delta \Phi (\text{град}) / 180$	-	-
4	$\Delta \xi_1$	радианы	$\Delta \xi_1 > 0$
5	$\Delta \xi_2$	радианы	$\Delta \xi_2 > 0$
6	$\sigma$	метры	$\sigma > 0$
7	D	метры	$D > 0$
8	$K_{\max} + \delta^{+)}$	-	-
9	$K_1 - \delta$	-	$K_1 \leq 61$
10	$K_2 - \delta$	-	$K_1 K_2 \leq 1300$
11	$d_1 + \delta$	-	$(K_1 - 1) d_1 \leq 1200$
12	$d_2 + \delta$	-	$(K_2 - 1) d_2 \leq 1200$ $[(K_1 - 1) d_1 + 1] \cdot$ $\cdot [(K_2 - 1) d_2 + 1] \leq 7384$

+) Величина  $\delta$  может принимать любые значения в интервале  $0 < \delta < 1$ .

Таблица IO

Массив PRM для программ FSF-I, FSF-2 (I2 элементов)

Номер эл-та массива:	Значение, присваиваемое элементу	Размер- ность	Ограничение на величину
I	R	метры	$R > 0$
2	$\lambda$	метры	$\lambda > 0$
3	Принимает значения +I или -I. Комплексное поле в этом случае $f_{mn}^R = a_{mn}^z \pm a_{mn}^i$ соответственно при значениях +I или -I	-	Имеют смысл два значения: +I или -I.
4	$\Delta \xi_1$	радианы	$\Delta \xi_1 > 0$
5	$\Delta \xi_2$	радианы	$\Delta \xi_2 > 0$
6	$\sigma$	метры	$\sigma > 0$
7	D	метры	$D > 0$
8	$k_{max} + \delta$ +)	-	-
9	$k_1 - \delta$	-	$k_1 \leq 31$
IO	$k_2 - \delta$	-	$k_1 k_2 \leq 441$
II	$d_1 + \delta$	-	$(k_1 - 1) d_1 \leq 120$
I2	$d_2 +$	-	$(k_2 - 1) d_2 \leq 120$ $[(k_1 - 1) d_1 + 1] \cdot$ $\cdot [(k_2 + 1) d_2 + 1] \leq 7381$

+ ) Величина  $\delta$  может принимать любые значения в интервале  $0 < \delta < I$ .



## ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Д.Бахрах, А.П.Курочкин, ДАН СССР, 171, 6 (1966).
2. В.И.Турчин, Н.М.Цейтлин, ДАН СССР, 205, 4 (1972).
3. В.И.Турчин, Н.М.Цейтлин, А.К.Чандаев, Радиотехника и электроника, 18, 4 (1973).
4. Л.Д.Бахрах, О.Н.Владимирова, А.П.Курочкин, Г.А.Соболев, Г.Х.Фрицман, "Антенны" Сб. статей под ред. А.А.Пистолькорса, вып.2, Изд. "Связь", (1967).
5. Э.М.Зуйкова, Л.А.Пасманик, В.И.Турчин, Изд. ВУЗов, Радиопизика, 16, 10 (1973).
6. Б.Ф.Курьянов, Л.Е.Медведева, Гармонический анализ случайных стационарных процессов, ВЦ МГУ под общей ред. Г.П.Климова, вып.8, М., 1970 г.
7. В.И.Турчин  
Восстановление на ЭЦВМ диаграмм направленности антенн по результатам фазометрических измерений с помощью источника в зоне Френеля.  
II. Тексты программ  
Препринт НИРФИ №