

Предложенный метод может быть эффективно использован в оптико-электронных системах при решении задач промышленного контроля, распознавания изображений, а также в других случаях, требующих выполнения фильтрации изображений и их мультиплицирования с изменяемыми параметрами.

Автор выражает признательность И. С. Солдатенкову за изготовление фазовых дифракционных решеток, применявшихся при экспериментальных исследованиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сороко Л. М. Основы голографии и когерентной оптики.— М.: Наука, 1971.
2. Оптическая обработка информации/Под ред. Д. Кейсента.— М.: Мир, 1980.
3. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография.— М.: Мир, 1973.
4. Кривенков Б. Е., Чугуй Ю. В. Качественное оконтуривание двумерных теневых изображений.— Автометрия, 1979, № 1, с. 33—44.
5. Козлов О. А., Нежевенко Е. С., Потатуркин О. И. Распознавание изображений в когерентно-оптических системах с применением контурных эталонов.— Автометрия, 1976, № 6, с. 34—44.
6. Здор С. Е., Широков В. Б. Оптический поиск и распознавание.— М.: Наука, 1973.
7. Вертопрахов В. В., Михляев С. В., Чугуй Ю. В. Оптическое преобразование изображений в оптико-цифровой системе промышленного контроля.— Автометрия, 1983, № 4, с. 59—64.
8. Михляев С. В., Чугуй Ю. В. Корреляционный метод допускового контроля размеров изделий с использованием расщепляющих фильтров.— Автометрия, 1981, № 1, с. 70—74.
9. Bryngdahl O. Image formation using self-imaging techniques.— JOSA, 1973, v. 63, № 4, p. 416—419.
10. Крылов К. И., Прокопенко В. Т., Митрофанов А. С. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении.— Л.: Машиностроение, 1978.
11. Михляев С. В., Чугуй Ю. В. Спектральный метод контроля размеров изделий на основе биполярных фильтров по интенсивности.— Автометрия, 1980, № 2, с. 43—59.

Поступила в редакцию 12 октября 1984 г.

УДК 621.396.677.8.001.5

А. Ю. ГРИНЕВ, В. Д. СВЕТ, В. С. ТЕМЧЕНКО

(Москва)

### КОГЕРЕНТНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССОР КОЛЬЦЕВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

**Введение.** Кольцевые антенные решетки (АР) позволяют осуществлять широкоугольный обзор пространства по азимуту практически без ухудшения свойств диаграммы направленности. Формирование остро-направленного излучения (приема) и сканирования в таких АР — сложная техническая задача, которая еще более усложняется, когда конечной целью становится реализация параллельного обзора пространства, аналогичного тому, который имеет место в плоских АР, принимающих широкополосный в пространственно-временном (ПВ) смысле сигнал [1].

Кольцевые АР с когерентными оптическими (КО) процессорами, использующими пространственные модуляторы света (ПМС) с пространственной разверткой принятого элементами АР ПВ-сигнала, позволяют осуществлять панорамный обзор по азимуту и частоте одновременно при фиксированном угле места [2—5].

**КО-процессор кольцевой антенной решетки.** В работах [4, 5] изложен алгоритм обработки ПВ-сигнала  $\mathcal{E}(R, t)$ , принятого элементами кольцевой АР, реализующий для фиксированного угла места направленные свойства и разрешение по частоте, тождественные эквивалентной

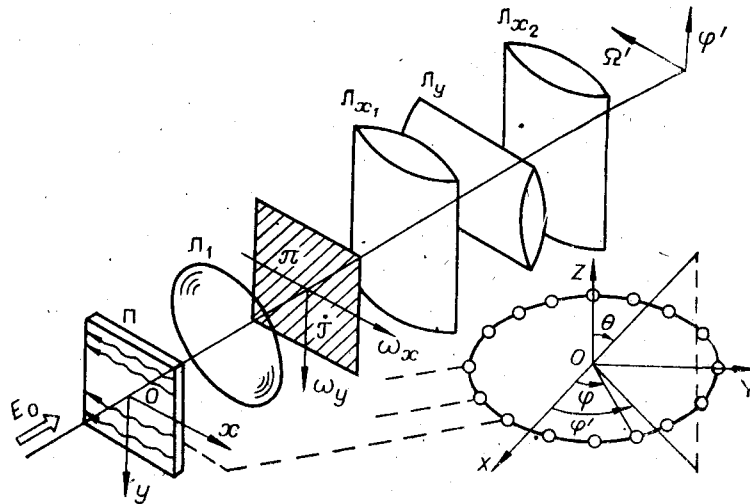


Рис. 1. Структурная схема КО-процессора кольцевой АР.

кольцевой фазированной АР и оптическому спектроанализатору соответственно. Схема КО-процессора, реализующего этот алгоритм, представлена на рис. 1. Сигнал  $\mathcal{E}(\varphi, t)$ , принятый элементами кольцевой АР, адресуется в ПМС, расположенный в плоскости П, по закону  $\varphi = m_y y$  ( $m_y$  — масштаб моделирования). На ПМС осуществляется пространственная развертка временного сигнала вдоль измерения  $x$ , так что  $\mathcal{E}(\varphi, t) \rightarrow E(y, t + x/v_p)$ ;  $v_p$  — скорость развертки. В качестве ПМС используются многоканальные акустооптические модуляторы света [3], в задачах гидролокации — реверсивные и нереверсивные носители. После просвечивания ПМС когерентным световым пучком  $E_0$  в КО-процессоре реализуются двумерное фурье-преобразование с помощью объектива  $L_1$ , умножение полученного в спектральной плоскости  $\pi$  отклика на комплексную функцию пропускания  $\mathcal{F}$  и астигматическое преобразование (одномерное преобразование по оси  $y$  с помощью объектива  $L_y$  и перенос изображения частотного спектра сигнала в выходную плоскость процессора по оси  $x$  с помощью цилиндрических линз  $L_{x_1}$  и  $L_{x_2}$ ). В результате в выходной плоскости процессора ( $\Omega'\varphi'$ ) воспроизводится частотно-угловой спектр (частотный спектр и азимутальная координата) всех источников излучения, находящихся в зоне обзора кольцевой АР.

КО-процессор, конкретизирующий рис. 1, представлен на рис. 2. В нем можно выделить три функциональные части: канал записи сигналов АР на носителе и ввода их в КО-процессор (элементы 18—23); канал КО-обработки (элементы 1—4, 6—17; в реальных условиях вместо элементов 15—17 используются видиконы, ПЭС-матрицы, сопряженные с ЭВМ [6]) с формированием частотно-углового спектра принимаемого кольцевой АР ПВ-сигнала в выходной плоскости; опорный канал (элементы 1—8), используемый только на этапе аналоговой голографической записи пространственного диаграммообразующего транспаранта  $\mathcal{F}$ .

Ключевую роль в КО-процессоре играет диаграммообразующий транспарант с комплексной функцией пропускания [4, 5]

$$\mathcal{F}(\Omega_\varphi, \Omega\tau_\theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} J_\varphi(\varphi) \exp[-i(\Omega\tau_\theta \cos \varphi + \Omega_\varphi \varphi)] d\varphi, \quad (1)$$

где  $\Omega\tau_\theta = (\Omega/c)R_0 \sin \theta_0 = KR_0 \sin \theta_0$  ( $\Omega$  — частота сигнала;  $C$  — скорость распространения сигнала в среде;  $R_0$  — радиус кольцевой АР;  $\theta_0$  — угол места, на который «настроен» транспарант;  $KR_0$  — электрический радиус АР);  $\Omega_\varphi$  — вспомогательная пространственная частота в плоскости  $\pi$  (см. рис. 1) процессора;  $J_\varphi(\varphi)$  — амплитудно-фазовое распределение по

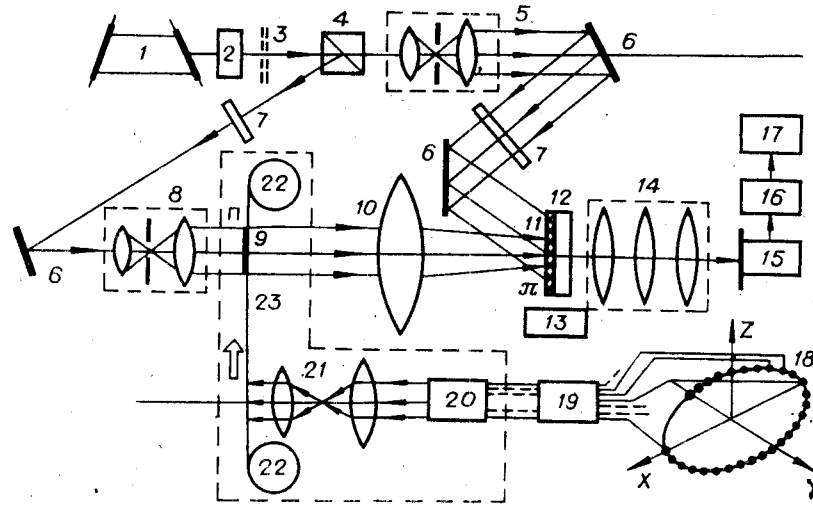


Рис. 2. Принципиальная схема КО-процессора.

Когерентный оптический процессор кольцевой АР: 1 — лазер, 2 — фотодетектор, 3 — механический модулятор, 4 — светоделитель, 5 — коллиматор, 6 — зеркала, 7 — нейтральные светофильтры, 8 — коллиматор, 9 — канал входного формата сигналов АР (эталонного раstra сигнала), 10 — фурье-объектив, 11 — диаграммообразующий транспарант, 12 — юстировочное устройство, 13 — кассета сменных транспарантов, 14 — астигматическая система линз, 15 — ФЭУ, 16 — усилитель (У7-2), 17 — самописец (Н-110), 18 — кольцевая АР (имитатор АР), 19 — усилители, 20 — линейная матрица светодиодов, 21 — изображающая система, 22 — лентопротяжный механизм, 23 — фотоноситель.

элементам кольцевой АР ( $J_{\varphi}(\varphi) = \text{rect}(\varphi/\Delta\varphi)$ ), здесь  $2\Delta\varphi$  — сектор размещения приемных элементов кольцевой АР,  $|\Delta\varphi| \leq \pi$ .

Линейные размеры  $\mathcal{F}(\Omega_{\varphi}, \Omega\tau_0)$  в плоскости  $\pi$  связаны с безразмерными параметрами  $\Omega_{\varphi}, \Omega\tau_0$  следующим образом:

$$\Omega\tau_0 = ax, \quad \Omega_{\varphi} = by, \quad (2)$$

где  $a = (v_p/c)(2\pi \sin \theta_0)(R_0/\lambda f)$ ,  $b = (2\pi/\Delta\varphi)/(\Delta y/\lambda f)$ ;  $\lambda$  — длина волны света;  $f$  — фокусное расстояние объектива  $\Pi_1$ ;  $\Delta\varphi = m_y \Delta y$ ;  $\Delta y$  — размер ПМС по оси  $y$ ;  $v_p$  — скорость развертки сигнала на носителе ПМС.

Транспарант  $\mathcal{F}$  можно воспроизвести либо голографическим методом, либо путем расчета на ЭВМ и последующей микрофотозаписи. Ниже рассматривается первая из этих возможностей.

**Запись комплексного диаграммообразующего транспаранта.** Методика записи  $\mathcal{F}$  опирается на классическую схему Вандер Люгта [7]. Вспомогательный сигнальный пучок вида (1) формируется как фурье-образ от эталонного сигнала  $\mathcal{E}_s(t, \varphi) = \text{Re}\{J(t, \varphi) \exp[i(\Omega_0 t - (\Omega_0/c)R_0 \sin \theta_0 \times \cos \varphi)] + E_0$  ( $E_0$  — опорный уровень, необходимый для записи отрицательных сигналов), вводимого в КО-процессор в соответствующем масштабе записи, так что

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_s(t, \varphi) \rightarrow E_s(x, y) = \\ = \text{Re}\{J_t(x)J_{\varphi}(y) \exp\{i[\Omega_0 t + \Omega_0 x/v_p - (\Omega_0/c)R_0 \sin \theta_0 \cos(m_y y)]\}\} + E_0. \end{aligned}$$

Ввод осуществлялся либо с помощью эталонного раstra сигнала 9, изготовленного методами цифровой голографии, либо с помощью ПМС (элементы 20—23).

При записи транспаранта  $\mathcal{F}$  для широкополосного сигнала  $\Delta\Omega = \Omega_{\max} - \Omega_{\min}$  необходимо последовательно перестраивать сигнал в полосе частот  $\Delta\Omega$  с дискретом, определяемым разрешением оптического спектроанализатора ( $\delta\Omega = 2\pi v_p/\Delta x$ ), выделяя соответствующую область по оси частот с помощью щелевой диафрагмы. В фокальной плоскости линзы 10 (плоскость  $\pi$ ) располагалась фотопластина типа ВРЛ (разрешающая способность  $\sim 10^3$  лин/мм), на которой в результате интерференции эталонного сигнального и опорного  $R = R_0 \exp[-i/\omega_y \sin \alpha_0]$  пуч-

ков записывается голограмма (угол  $\alpha_0$  определяется условием пространственного разделения выходных сигналов, соответствующих различным членам коэффициента пропускания  $T_A$  (см. рис. 3, 5), а соотношение между уровнями сигнального и опорного пучков подбиралось с помощью нейтральных светофильтров 7 (НС1 ÷ 11)).

Коэффициент пропускания линейно записанной голограммы-транспаранта пропорционален

$$T_A \sim [F_t^+ \dot{\mathcal{F}} + \bar{F}_t^* \dot{\mathcal{F}} + F_0 + \dot{R}] [F_t^+ \dot{\mathcal{F}} + \bar{F}_t^* \dot{\mathcal{F}} + F_0 + \dot{R}]^*, \quad (3)$$

где

$$F_t^{\pm} = F_t^{\pm}(\omega_x \mp \Omega_0/v_p) = \hat{\mathcal{F}}_x \{J_t(x) \exp(\pm \Omega_0 x/v_p)\}; \quad F_0 = \hat{\mathcal{F}}\{E_0\};$$

$$\dot{\mathcal{F}} \dot{\mathcal{F}}^* = 1/2 \hat{\mathcal{F}}_y \{J_y(y) \exp[\mp i(\Omega_0/c) R_0 \sin \theta_0 \cos(m_y y)]\}; \quad \hat{\mathcal{F}}, \hat{\mathcal{F}}_x, \hat{\mathcal{F}}_y -$$

операторы двумерного и одномерного фурье-преобразований; \* — значок сопряжения.

Множитель  $F_t$  «вырезает»  $\dot{\mathcal{F}} (\dot{\mathcal{F}}^*)$  в соответствующем месте по оси частот в плоскости транспаранта  $II$  (плоскость  $\pi$  на рис. 1), ограниченном щелевой диафрагмой, в пределах которой для исключения дефокусировки образа щели  $F_t \sim \text{const}$  (несколько отсчетов на элемент разрешения оптического спектроанализатора). Транспарант (3) выполняет ключевую диаграммообразующую роль в КО-процессоре кольцевой РОАР.

Пусть далее АР принимает сигнал  $\mathcal{E}(\varphi, t)$  из дальней зоны, тогда в предметной плоскости  $\Pi$  процессора записывается сигнал вида  $\mathcal{E}(x, y) = \text{Re}\{\mathcal{E}(x, y)\}$ , а на транспарант  $II$  падает световой поток

$$e_\pi \sim \hat{\mathcal{F}}\{\mathcal{E}(x, y)\} = \frac{1}{2} \hat{\mathcal{F}}_y \left\{ \bar{F}_t \dot{\mathcal{E}}_{\Omega_0}(m_y y) + F_t^+ \dot{\mathcal{E}}_{\Omega_0}(m_y y) \right\} +$$

$$+ F_0 \sim F_t^+ \dot{\mathcal{F}} + \bar{F}_t \dot{\mathcal{F}} + F_0, \quad (4)$$

где

$$\dot{\mathcal{E}}_{\Omega_0}(m_y y) = \hat{\mathcal{F}}_t \{\mathcal{E}(m_y y, t)\}.$$

Распределение света в выходной плоскости КО-процессора состоит в общем случае из 48 компонент:

$$e_{\text{вых}} \sim \hat{\mathcal{F}}_y^{-1} \{T_A e_\pi\} = \dot{e}_{\text{вых}}^{(+1)} + \dot{e}_{\text{вых}}^{(0)} + \dot{e}_{\text{вых}}^{(-1)} + \dot{e}_{\text{вых}}^{(\pm 1)}, \quad (5)$$

где

$$\dot{e}_{\text{вых}}^{(+1)} \sim \hat{\mathcal{F}}_y^{-1} \left\{ \begin{array}{l} [1] \\ F_t^2 R \dot{\mathcal{F}} \dot{\mathcal{F}} + F_t F_0 R \dot{\mathcal{F}} \dot{\mathcal{F}} + F_t F_0 \dot{\mathcal{F}} \dot{\mathcal{F}} + F_t^2 F_0 \dot{\mathcal{F}} \dot{\mathcal{F}} + \\ [5] \\ F_t^2 F_0 \dot{\mathcal{F}} \dot{\mathcal{F}} + F_t^3 |\dot{\mathcal{F}}|^2 \dot{\mathcal{F}} + F_t |\dot{R}|^2 \dot{\mathcal{F}} + F_t F_0 R \dot{\mathcal{F}} + F_t^2 R \dot{\mathcal{F}}^2 + \\ [10] \\ F_t F_0 R \dot{\mathcal{F}} + F_t F_0 R \dot{\mathcal{F}} + F_t F_0^2 \dot{\mathcal{F}} + F_t F_0^2 \dot{\mathcal{F}} + F_t^2 F_0 \dot{\mathcal{F}}^2 \end{array} \right\};$$

$$\dot{e}_{\text{вых}}^{(0)} \sim \hat{\mathcal{F}}_y^{-1} \left\{ \begin{array}{l} [15] \\ F_0^2 R + F_0 |\dot{R}|^2 + F_0^2 R + F_0^3 \end{array} \right\};$$

$$\dot{e}_{\text{вых}}^{(\pm 1)} \sim \hat{\mathcal{F}}_y^{-1} \left\{ \begin{array}{l} [19] \\ F_t \bar{F}_t [F_t \dot{\mathcal{F}}^3 + F_t |\dot{\mathcal{F}}|^2 \dot{\mathcal{F}} + \bar{F}_t |\dot{\mathcal{F}}|^2 \dot{\mathcal{F}} + F_0 \dot{\mathcal{F}} \dot{\mathcal{F}} + \\ [23] \\ \bar{F}_t \dot{\mathcal{F}}^3 + F_0 \dot{\mathcal{F}}^2 + F_0 \dot{\mathcal{F}}^2 + F_0 \dot{\mathcal{F}}^2 + F_0 \dot{\mathcal{F}}^2 + F_t |\dot{\mathcal{F}}|^2 \dot{\mathcal{F}} + \bar{F}_t |\dot{\mathcal{F}}|^2 \dot{\mathcal{F}} + \\ [30] \\ F_0 \dot{\mathcal{F}} \dot{\mathcal{F}} + R \dot{\mathcal{F}} \dot{\mathcal{F}} + R \dot{\mathcal{F}} \dot{\mathcal{F}} + R \dot{\mathcal{F}}^2 + R \dot{\mathcal{F}}^2 \end{array} \right\}; \quad \dot{e}_{\text{вых}}^{(-1)}(\Omega) = \dot{e}_{\text{вых}}^{(+1)}(-\Omega) -$$

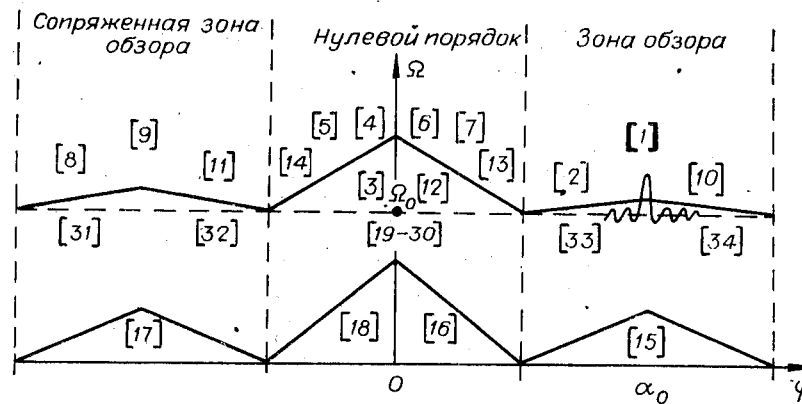


Рис. 3. Структура светового распределения в выходной плоскости КО-процессора.

комплексно-сопряженные составляющие выходного образа, формируемые в нижней полуплоскости ( $\Omega < 0$ , см. рис. 3, 5).

Распределение составляющих  $e_{\text{ВЫХ}}^{(+1)}$ ,  $e_{\text{ВЫХ}}^{(0)}$ ,  $e_{\text{ВЫХ}}^{(-1)}$  в выходной полуплоскости ( $\Omega > 0$ ) процессора схематически представлено на рис. 3 (в квадратных скобках отмечены номера слагаемых в (5)). Первое слагаемое  $\mathcal{F}_y^{-1} \{ F_i^* R_i^* \mathcal{T} \}$  является информационным и представляет полезный отклик КО-процессора (см. рис. 1) на ПВ-сигнал кольцевой АР. Если не припримать специальных мер, то этот сигнал искажается дефокусированными 2-м, 10-м и 15-м слагаемыми, а также существенно ослабленными за счет множителя  $F_i F_i^*$  слагаемыми 33 и 34 (см. рис. 3). Составляющие выходного образа, расположенные слева от области нулевого порядка дифракции, обусловлены спецификой голографической записи транспаранта. В частности, слагаемое 9 представляет свертку по  $\varphi$  полезного сигнала с дефокусированной диаграммой направленности (ДН) кольцевой АР [4]. Остальные слагаемые, локализованные в центральной области выходной плоскости, определяют выбор угла  $\alpha_0$  опорной волны. Заметим, что, вообще говоря, слагаемые, содержащие  $F_0$  и обусловленные наличием опорного уровня  $E_0$ , а также двухполосным вводом ПМС, устраняются как на этапе записи, так и на этапе восстановления при использовании соответствующих схем фильтрации. Слагаемые  $e_{\text{ВЫХ}}^{(-1)}$  (на рис. 3 не показаны), симметричные  $e_{\text{ВЫХ}}^{(+1)}$  относительно оси  $\varphi$ , обусловлены двухполосным вводом сигнала в КО-процессор с помощью ПМС (см. рис. 2). Перестройка кольцевой АР на различные углы  $\theta_0$  реализуется в простейшем случае с помощью узла 13 (см. рис. 2), осуществляющего смену транспарантов, записанных для различных углов  $\theta_0$ .

**Результаты эксперимента. Обсуждение.** Результаты эксперимента, представленные на рис. 4, 5, конкретизированы следующими данными: сигнал гармонической частоты  $\Omega_0$ ; электрический радиус кольцевой АР —  $KR_0 = 33,5$ ; число приемных элементов на «освещенной» стороне АР ( $|\Delta\varphi| \leq \pi/2$ ) —  $N = 61$ ; шаг между элементами  $d_0 R_0 / \Lambda_0 = 0,55$ ;  $\theta_0 = \pi/2$ ; размер формата входного сигнала 9 (см. рис. 2) —  $12,5 \times 12,5$  мм<sup>2</sup>; преобразующие коэффициенты в (2) —  $a = 2,22 \cdot 10^4$  1/м,  $b = 1,25 \cdot 10^4$  1/м.

Диаграммообразующий транспарант  $T_A$ , реализованный в схеме на рис. 2, для ПВ-сигнала частоты  $\Omega_0$ , принятого элементами кольцевой АР, приведен на рис. 4 (вертикальная ось —  $\Omega$ , горизонтальная —  $\Omega_\varphi$ ). Информационной (полезной) частью записанного транспаранта, выполняющей основную диаграммообразующую функцию при работе КО-процессора в реальном масштабе времени, является структура  $\mathcal{T}_{\text{инф}} \sim F_i^* R_i^*$  в (3) (горизонтальная полоса в верхней части рисунка), максимум интенсивности которой по вертикальной оси определяет частоту сигнала  $\Omega_0$ .

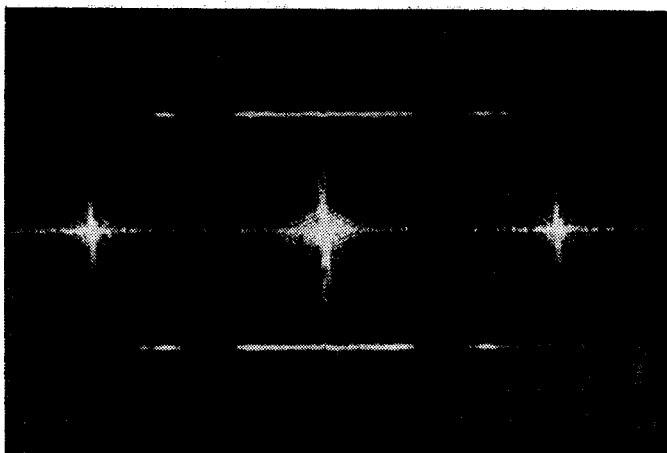


Рис. 4. Изображение диаграммоформирующего транспаранта.

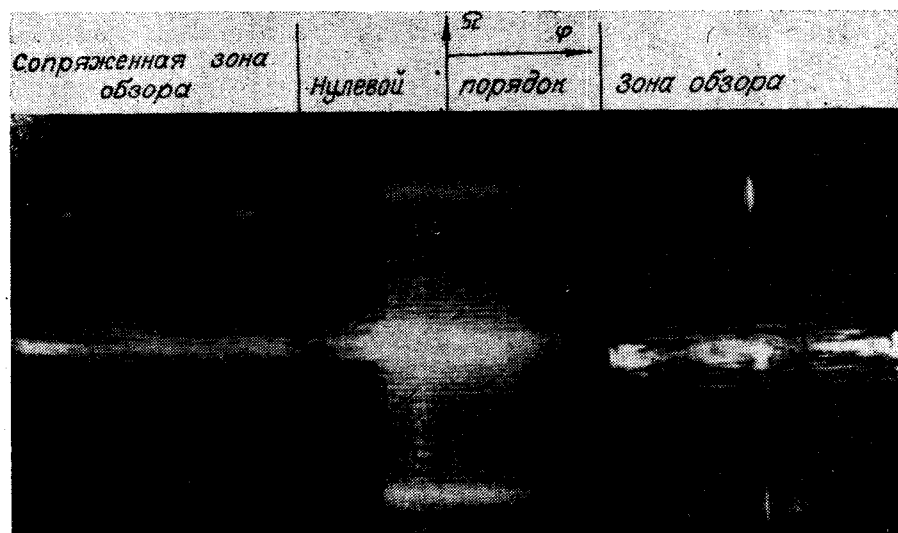


Рис. 5. Дифрактограмма для гармонического сигнала.

В структуре  $\mathcal{T}_{\text{инф}}$  видны интерференционные полосы, образованные сигнальным и опорным пучками. При записи транспаранта с соответствующего эталонного сигнала, частота которого отлична от  $\Omega_0$ , структура  $\mathcal{T}_{\text{инф}}$  перемещается в вертикальном направлении в соответствии с изменением частоты. Отсюда очевидна трудоемкость создания диаграммообразующего транспаранта в случае широкополосного ПВ-сигнала; альтернативой его реализации являются методы цифровой голографии.

Структура  $\mathcal{T}_{\text{инф}}^*$ , симметричная относительно горизонтальной оси  $\Omega_r$ , обусловлена двухполосным вводом сигнала в КО-процессор.

На рис. 5 показана дифрактограмма в выходной плоскости КО-процессора —  $|\dot{e}_{\text{вых}}|^2$  — гармонического сигнала частоты  $\Omega_0$ , падающего из дальней зоны на кольцевую АР (см. рис. 1) под углом  $\varphi_0 = 0^\circ$  (опорный канал на рис. 2 отключен). Дифрактограмма согласована с картиной расположения дифракционных слагаемых в (5) (см. рис. 3). Образ 1 (в правом верхнем углу) представляет полезный рабочий порядок дифракции, вертикальное положение которого в соответствующем масштабе определяет частоту сигнала  $\Omega_0$ , а горизонтальное — азимут цели. Образ 9

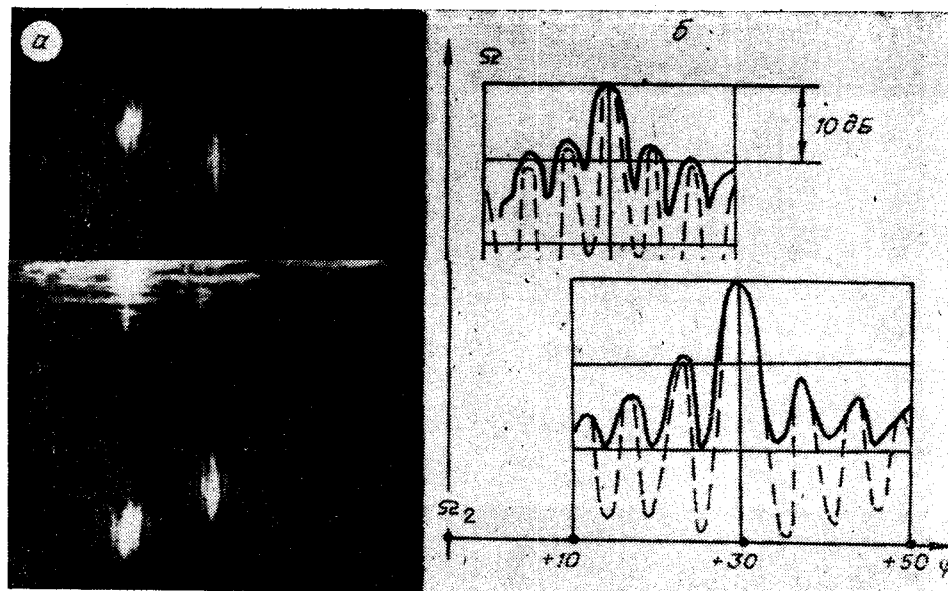


Рис. 6. Дифрактограмма для двухчастотного сигнала (а); результат фотометрирования в сечениях полезных порядков дифрактограммы (б).

(левый верхний угол на рис. 5) в соответствии с (5) представляет смещенную в направлении, противоположном образу 1, свертку по  $\varphi$  (по  $y$ ) пространственного сигнала кольцевой АР с дефокусированной ДН [4]. В нижней части дифрактограммы (см. рис. 5) сгруппировались слабые, обусловленные двухполосным режимом работы процессора и не вызывающие неоднозначности определения азимутальных координат объектов. Как уже упоминалось, неинформационные образы не оказывают существенного влияния на считывание полезной информации, однако могут ограничить динамический диапазон процессора, поэтому их целесообразно отфильтровывать.

На рис. 6, а, б показан фрагмент дифрактограммы в выходной плоскости процессора и результаты ее фотометрирования в сечениях полезных порядков для случая двух источников излучения различной частоты  $\Omega_2 \neq \Omega_1$ , находящихся под разными азимутальными углами  $\varphi_1 = -30^\circ$  и  $\varphi_2 = +30^\circ$ . Восстановление оптических образов источников происходит в параллельном режиме, при этом распределение интенсивности света совпадает по координате  $\varphi$  с ДН кольцевой АР по мощности, а по  $\Omega$  — с квадратом ядра оптического спектроанализатора. Пунктиром на рис. 6, б показана теоретическая ДН кольцевой АР в предположении равномерности амплитудного распределения по приемным элементам кольцевой АР и их изотропности. В данном случае голографический транспарант  $T_A$  записывался в КО-процессоре (см. рис. 2) последовательно с помощью двух эталонных форматов сигналов с частотами  $\Omega_2$  и  $\Omega_1 = 1,25\Omega_2$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гринев А. Ю. Радиооптические антенные решетки.— Изв. вузов. Радиоэлектроника, 1981, т. XXIV, № 2, с. 15—26.
2. Lewis P. Optical signal processing technique for directional systems using circular arrays.— Optica Acta, 1970, v. 17, N.1, p. 19—36.

3. Водоватов Н. А., Высоцкий М. Г., Есепкина Н. А., Рогов С. В. Экспериментальное исследование оптической обработки сигналов в кольцевых решетках.— В кн.: Квант. электроника: Труды ЛПИ. Л., 1979, № 336, с. 62—65.
4. Гринев А. Ю., Воронин Е. Н. Неплоские антенные решетки с формированием приемных лучей методами когерентной оптики.— В кн.: Радиолокация и оптическая обработка информации в микроволновой технике. Л.: Наука, 1980, с. 118—135.
5. Гринев А. Ю., Воронин Е. Н. Когерентно-оптическая обработка сигнала круговых антенных решеток с использованием ультразвуковых модуляторов света.— В кн.: Проектирование антенн и устройств СВЧ с использованием ЭВМ. (Труды МАИ.) М., 1980, с. 33—39.
6. Есепкина Н. А. и др. Гибридные оптико-цифровые системы обработки информации с помощью приборов с зарядовой связью.— Радиотехника и электроника, 1982, т. 27, № 8, с. 1622—1630.
7. Vander Lugt A. Signal detection by complex spatial filtering.— IEEE Trans. Inform. Theory, 1964, v. 10, N 2, p. 139—145.

*Поступила в редакцию 7 января 1983 г.*

УДК 621.391.156 : 681.332

**В. П. ИВАНЧЕНКОВ, О. В. ОРЛОВ**

*(Томск)*

## ОПЕРАТОРНОЕ ОПИСАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ЧАСТИЧНО-КОГЕРЕНТНЫМ ИСТОЧНИКОМ ИЗЛУЧЕНИЯ

В настоящее время в области оптической обработки информации все больше внимания уделяется дифракционным оптическим вычислительным системам (ОВС) с некогерентными и частично-когерентными источниками излучения. В основу построения такого класса систем положены волновые законы распространения и преобразования случайных электромагнитных полей в свободном пространстве и в различных оптических элементах [1—3].

Для решения многих практических задач математическое описание частично-когерентных и некогерентных ОВС достаточно проводить в рамках скалярной теории частичной когерентности. Но и в этом случае даже при анализе простейших устройств возникают существенные трудности, связанные с необходимостью выполнения трудоемких преобразований для определения тех или иных статистических характеристик преобразуемых случайных полей.

В данной работе для преодоления указанных проблем рассматриваются вопросы разработки операторного описания центрированных частично-когерентных систем, базирующегося на алгебраических методах. Следует отметить, что операторные методы находят достаточно широкое признание при исследовании когерентных ОВС, математические модели которых обычно описываются относительно простыми соотношениями по сравнению с частично-когерентными системами [4, 5]. Развитие этих методов для частично-когерентного излучения позволяет получить еще более оптимизированные результаты при анализе и синтезе оптических вычислительных систем.

**Основные определения.** Описание оптических систем будем производить для полихроматического света, рассматривая его как общий случай частично-когерентного излучения. Результаты для частных случаев излучения (монохроматический излучатель, пространственно-некогерентный объект и т. д.) могут быть получены для конкретных систем из уточнения соотношений для общего случая.