

3. Капустин А.П. Электрооптические и акустические свойства жидких кристаллов. - М.:1978. – 368с.
4. Кузнецов В.С. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата наук. М.: 2008.
5. Емельянов В.А. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата наук. - М. 2002.
6. Б.А. Беляев, Н.А. Дрокин, В.Ф.Шабанов, В.Н. Шепов. ФТТ, 2000.том 42, вып.3
7. Брандт А.А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. М.: Издательство физико-математической литературы,1963. – 404с.
8. Ахадов Я. Ю. Диэлектрические параметры чистых жидкостей. – М.: Издательство МАИ, 1999. – 856с.

ANISOTROPY OF THE DIELECTRIC PERMITTIVITY OF NEMATIC LIQUID CRYSTALS IN SUPER HIGH FREQUENCY RANGE

D. Bogdanov, V. Emelianov, A. Shubin

*Moscow state regional university
10a, Radio st., Moscow, 105005, Russia*

Abstract. The dielectric permittivity of nematic liquid crystals LC-1282, LC-440 and N-37 oriented by magnetic field was measured in microwave range at atmospheric pressure for a temperature range from 293 K to 350 K. Dielectric permittivities ϵ_{\perp} and ϵ_{\parallel} of all three studied liquid crystals show little dependence on changes in temperature. N-37 and LC-1282 show anisotropy $\Delta\epsilon$ with the opposite sign at 30 GHz. No change in sign is observed for LC-440 at the same frequency.

Keywords: Liquid crystals, LC-440, LC-1282, N-37, dielectric permittivity, anisotropy of dielectric permittivity, Super High Frequency, change in sign $\Delta\epsilon$.

УДК 535.41

РЕКОНСТРУКЦИЯ КОНТУРА ЛОЦИРУЕМОГО ОБЪЕКТА ПО ПАРАМЕТРАМ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ 4-ГО ПОРЯДКА ПОЛЯ РАССЕЯННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, РЕГИСТРИРУЕМОГО МАТРИЧНЫМ ФОТОДЕТЕКТОРОМ

П.В. Аракчеев, Е.В. Бурый, А.С. Марянина, Д.А. Семеренко

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5*

Аннотация. Предложен и с применением физических моделей экспериментально исследован способ реконструкции контура лоцируемого объекта, основанный на определении величин угловых размеров объекта по параметрам корреляционной функции 4-го порядка поля излучения. Оценку каждого углового размера пред-

ложено получать, находя положение первого локального минимума корреляционной функции, отсчеты которой формируются в результате вычисления одномерной свертки отсчетов поля интенсивностей, регистрируемых матричным фотодетектором. Приведены результаты экспериментальных исследований, доказывающие возможность реконструкции контуров объектов при неэквидистантном пространственном размещении фоточувствительных элементов.

Ключевые слова: корреляционная функция, оптическая локация, реконструкция контура объекта.

Введение

Оценка геометрических параметров поверхности Ω лоцируемого объекта по его изображению сопряжено с рядом проблем, основная из которых – необходимость нейтрализации спекл-структур как в окрестности объекта, так и в окрестности приемной апертуры. Кроме того, в ряде задач оптической локации требуется получать информацию о поперечных размерах и форме контура лоцируемого объекта, когда угловое разрешение приемной оптической системы недостаточно для формирования его изображения.

Известно, что параметры корреляционной функции (КФ) регистрируемого излучения связаны с пространственным распределением интенсивности когерентного излучения, рассеянного поверхностью Ω объекта [1]. Поэтому, анализируя параметры КФ, можно оценить угловой размер осесимметричного объекта [1] и обеспечить заданную погрешность измерений [2,3]. Реализация описанного в [4] метода реконструкции контура объекта по совокупности оценок его угловых размеров требует определения способа их получения, являющегося эффективным как с точки зрения минимизации энергетических и вычислительных затрат, так и с точки зрения получения искомого решения с приемлемыми ошибками. Кроме того, реализация этого способа должна обеспечить ряд требований к условиям регистрации отсчетов интенсивности рассеянного поля излучения и возможность их технической реализации.

Метод реконструкции контура плоского объекта по совокупности оценок его угловых размеров

В [4] изложен метод реконструкции контура L_i проекции S_i поверхности Ω лоцируемого объекта на плоскость $X_oO_oY_o$, перпендикулярную вектору наблюдения \mathbf{V} , основанный на определении оценок угловых размеров Ω в N различных направлениях и последующем построении фигуры, представляющей собой на модельной плоскости XOY системы координат (СК) наблюдения $S(x, y)$ множество точек, принадлежащих N полосам P_i с осями симметрии $y_i = \tan(\varphi_i) \cdot x$, $i = 1, 2, \dots, N$. Ширина каждой полосы P_i определяется величиной оценки углового размера в направлении, перпендикулярном ее оси симметрии – рисунок 1.

Уравнения границ i -ой полосы имеют вид:

$$y_i = \tan(\varphi_i) \cdot x \pm \frac{a\hat{\gamma}(\varphi_i)}{\cos(\varphi_i)}; \quad -\pi/2 < \varphi_i < \pi/2; \quad (1)$$

$$x_i = \pm a\hat{\gamma}(\pi/2); \quad \varphi_i = 0, \quad (2)$$

где a – масштабный коэффициент, $\hat{\gamma}(\varphi_i)$ – оценка углового размера Ω , полученная для угла φ_i .

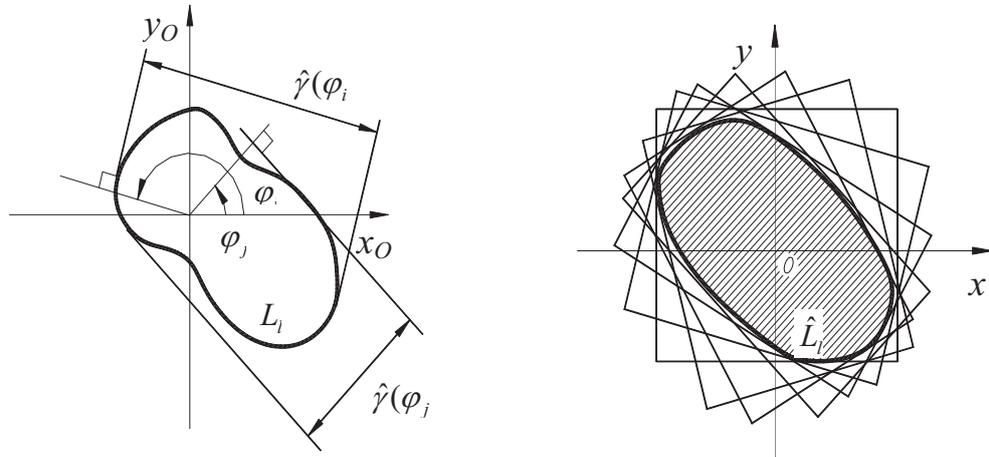


Рис. 1. Реконструкция контура проекции объекта Ω на плоскость, перпендикулярную вектору наблюдения

Оценки $\hat{\gamma}(\varphi_i)$ можно получить в результате анализа корреляционной функции (КФ) 4-го порядка поля рассеянного излучения. В [2] показано, что для однородного случайного поля интенсивностей мгновенную оценку КФ поля рассеянного излучения можно получить в результате вычисления пространственной свертки отсчетов интенсивностей, одновременно зарегистрированных в некоторых точках Q_1 и Q_2 плоскости XOY , положение которых задается радиус-векторами \mathbf{r}_1 и \mathbf{r}_2 :

$$\hat{\Gamma}_S^{(2,2)}(\delta\mathbf{r}, \tau) = \frac{1}{S_V} \int_{S_V} I(\mathbf{r}, t) \cdot I(\mathbf{r} + \delta\mathbf{r}, t + \tau) d\mathbf{r}$$

где $\delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2$, $\tau = |\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|/c$, $I(\mathbf{r}, t)$ – интенсивность излучения, зарегистрированная в точке, задаваемой радиус-вектором \mathbf{r} , S_V – выбранное пространство наблюдения в плоскости XOY . Если квадрат расстояния между Ω и плоскостью XOY существенно превышает S_V и вектор наблюдения перпендикулярен XOY , то в случае локации плоского объекта можно считать $\tau \approx 0$.

Доказано [2, 3], что при локации осесимметричных объектов для нахождения отсчетов КФ регистрируемого поля излучения можно использовать одномерную свертку:

$$\hat{\Gamma}_L^{(2,2)}(\delta\vec{r}, \tau) = \frac{1}{L_V} \int_{L_V} I(\vec{r}, t) \cdot I(\vec{r} + \delta\vec{r}, t + \tau) d\vec{r},$$

где L_V – произвольно выбранный отрезок на плоскости XOY , $(\vec{r}, \delta\vec{r}) \in L_V$.

Положение первого локального минимума КФ 4-го порядка ρ_0 определяется величиной радиуса корреляции поля излучения ρ_c , который, в свою очередь, зависит от величины углового размера объекта и длины волны излучения λ :

$$\rho_c \approx \frac{\lambda}{\gamma}.$$

При регистрации отсчетов поля интенсивностей системой фотодетекторов, размеры приемных апертур которых много меньше L_V , можно считать, что регистрация излучения производится в отдельных точках пространства. Тогда, в соответствии с (1), оценки отсчетов КФ 4-го порядка поля излучения могут быть получены в результате применения дискретной одномерной свертки отсчетов интенсивностей I_1, I_2, \dots, I_{L_D} , зарегистрированных L_D фотодетекторами, расположенными на прямой l с интервалом Δd :

$$\hat{\Gamma}^{(2,2)}(k\Delta x, 0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i I_{i+k}, \quad (3)$$

где k – номер отсчета КФ, $k = 0, 1, \dots, k_{\max}$, $k_{\max} < L_D - N$, $N < L_D - k_{\max}$ – размер коррелируемых выборок.

Применение (3) возможно, если $k_{\max} \Delta d > \rho_0$ и $k_{\max} \ll N$, что обеспечивает достижение приемлемой погрешности оценок отсчетов КФ.

Заметим, что если для поля интенсивностей справедлива эргодическая теорема по отношению к операции одномерной свертки, то принципиально возможно получение оценки параметра ρ_0 в одном цикле локации – облучении объекта когерентным излучением и регистрации интенсивностей поля рассеянного излучения – при достаточной длине L_V . Методы корреляции интенсивностей и пространственной свертки дают совпадающие оценки ρ_0 , стремящиеся к истинному значению в тех случаях, когда поле излучения стационарно и однородно. Во всех других случаях эти методы могут приводить к различиям в оценках ρ_0 , причем каждая из получаемых оценок может не стремиться к истинному значению ρ_0 . Отметим, что метод корреляции интенсивностей слабо чувствителен к неоднородности поля, а метод одномерной свертки слабо чувствителен к его нестационарности, но чувствителен к изменению средней интенсивности поля на расстоянии $L_D \Delta d$.

В [2] показано, что максимальный шаг пространственной дискретизации ФД Δl следует определять в соответствии с теоремой Котельникова [5] для граничной пространственной частоты флуктуаций интенсивности излучения χ_m в окрестности линейки фотодетекторов:

$$\chi_m = 2\pi a / \lambda R,$$

где a – максимальный габаритный размер объекта, R – расстояние между объектом и плоскостью регистрации излучения XOY .

Таким образом, возможны два способа практической реализации изложенного метода реконструкции контура L_l , полностью обеспечивающие оговоренные ранее условия регистрации рассеянного излучения. Первый способ включает следующие процедуры: вычисление по результатам регистрации поля интенсивностей рассеянного излучения двумерной КФ 4-го порядка $\hat{\Gamma}^{(2,2)}(x, y, 0)$ в СК наблюдения $S(x, y)$; нахождение сечений этой КФ N плоскостями $P_i : i = 1, 2, \dots, N$, перпендикулярными плоскости XOY и проходящими через точку $(0, 0)$, линии пересечения которых с плоскостью XOY образуют углы φ_i с осью абсцисс СК наблюдения; определение положений первых локальных минимумов сечений этой КФ и построении полос с границами, определяемыми уравнениями (1) и (2).

Второй способ предусматривает последовательную во времени регистрацию отсчетов интенсивностей излучения линейкой фотодетекторов при различных величинах углов между l и осью абсцисс СК наблюдения, вычисление в соответствии с (3) одномерных КФ и построение полос с границами (1) и (2). Использование этого способа предполагает осуществление значительного числа циклов локации объекта.

Применение матричного фотоприемника для получения оценок угловых размеров лоцируемого объекта

Основной недостаток первого способа реконструкции объекта – большой объем вычислений. Кроме того, возникает ряд математических трудностей при построении сечений двумерной КФ 4-го порядка, относящейся к классу сложных поверхностей.

Использование второго способа предполагает осуществление значительного числа циклов локации объекта. Преодоление этого недостатка возможно в результате регистрации излучения фотоприемным устройством, представляющим собой систему точечных фотодетекторов, расположенных на линиях, принадлежащих плоскости XOY и проходящих через точку $(0, 0)$ СК наблюдения $S(x, y)$ – рисунок 2. Очевидны технические проблемы, возникающие при реализации такого фотоприемного устройства, когда величина интервала между фотодетекторами должна быть меньше нескольких миллиметров.

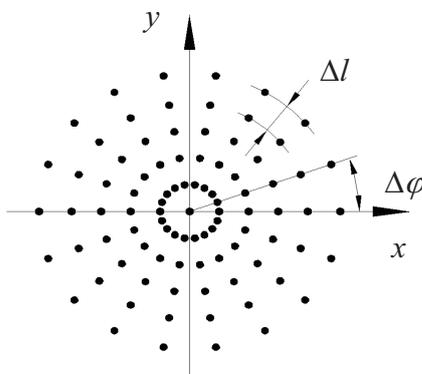


Рис. 2. Система точечных фотодетекторов

Возможной альтернативой является способ, предусматривающий регистрацию излучения матричным фотодетектором и последующее вычисление КФ $\hat{\Gamma}^{(2,2)}(k, \Delta l, 0)$ в соответствии с (3) вдоль линий $y = \arctg(\varphi_i) \cdot x : i = 1, 2, \dots, N$. Основной проблемой его реализации является осуществление корректного (в смысле соответствия задаче определения локальных минимумов КФ) формирования множества отсчетов интенсивностей $\mathbf{I} : I_1, I_2, \dots, I_{L_D}$. На рис. 3 представлена схема расположения фоточувствительных элементов матричного фотоприемника и отмечены те из них, которые по критерию минимального расстояния между геометрическим центром и линией l следует использовать при формировании \mathbf{I} .

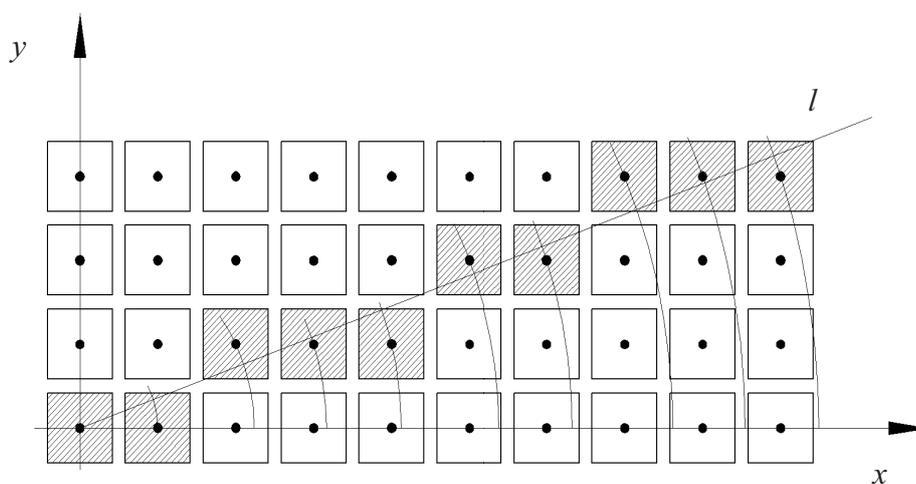


Рис. 3. Расположение фоточувствительных элементов матричного фотоприемника

Несмотря на то, что условие эквидистантности отсчетов может быть удовлетворено только при $\varphi \in [0; \pi/4; \pi/2; 3\pi/4]$, было предложено осуществлять вычисление отсчетов КФ без коррекции величин элементов множества \mathbf{I} , а после определения номера отсчета \hat{k}_0 , представляющего собой оценку положения первого локального минимума, ρ_0 определялось как расстояние между началом СК и геометрическим центром того фоточувствительного элемента, отсчет интенсивности которого является элементом с номером \hat{k}_0 в множестве \mathbf{I} . Допущение неэквидистантности отсчетов оправдано, в первую очередь, случайным характером пространственного распределения интенсивностей реализаций рассеянного поля излучения. Это обстоятельство также позволяет предположить сходимость получаемых оценок углового размера к среднему значению и его несмещенность.

Результаты экспериментов по реконструкции контуров физических моделей объектов

Состоятельность предложенного способа получения оценок угловых размеров и возможность осуществления реконструкции контура лоцируемого объекта была подтверждена экспериментально.

Для формирования поля интенсивностей использовалась физическая модель объекта, состоящая из стеклянной пластины толщиной $2 \cdot 10^{-3}$ м с односторонним матированием ($R_z \approx 2 \cdot 10^{-5}$ м), со стороны матированной поверхности которой был установлен амплитудный транспарант – пластина медной фольги толщиной $1 \cdot 10^{-4}$ м с отверстием. Контур отверстия определял контур моделируемого объекта.

Результаты, полученные в [6], показывают, что использование в качестве управляемого фазового транспаранта электрооптической ячейки с жидким кристаллом позволяет получить не более нескольких десятков независимых реализаций поля излучения. Поэтому для формирования таких реализаций, общее число которых, необходимое для статистически значимого моделирования отсчетов КФ, превышает 10^4 , в качестве фазового транспаранта использовался вращающийся стеклянный диск, одна из поверхностей которого матирована ($R_z \approx 1 \cdot 10^{-5}$ м). Расстояние между этой поверхностью и полированной поверхностью стеклянной пластины с односторонним матированием физической модели объекта составляло $5 \cdot 10^{-4}$ м. Излучение He-Ne лазера, прошедшее через вращающийся стеклянный диск и далее – через физическую модель объекта, регистрировалось ПЗС-матрицей телекамеры

WAT-525EX, работающей в режиме с постоянной величиной коэффициента усиления.

Оценки $\hat{k}_0(\varphi)$ положений первых нулей КФ $\Gamma^{(2,2)}(k\Delta l, \varphi)$ рассчитывались при изменении величины φ в пределах от 0 до 180° с шагом 1° . Для выбора фоточувствительных элементов матрицы, центры которых находятся на минимальных расстояниях от прямой l , использовался алгоритм Брезенхема [7].

В результате обработки серий реализаций, каждая из которых содержала 100 отсчетов поля интенсивностей, были построены гистограммы оценок $\hat{k}_0(\varphi)$. Анализ этих гистограмм показал, что для достижения приемлемой ошибки реконструкции контуров L_l физических моделей объектов целесообразно использовать средние значения оценок, полученных не менее чем для 50 статистически независимых реализаций отсчетов полей интенсивности. Подтверждено предположение, что эта операция обеспечивает получение оценок $\hat{k}_0(\varphi)$ с меньшим значением дисперсии по сравнению с операцией нахождения усредненной реализации КФ 4-го порядка, по которой определяются такие же оценки.

Результаты определения статистических характеристик оценок $\hat{k}_0(\varphi)$ и реконструкции контуров L_l амплитудных транспарантов трех различных физических моделей объектов представлены на рисунках 4 – 6. Видно (как и было предсказано в [1, 2]), что прямое соответствие L_l и получаемых оценок \hat{L}_l может быть установлено только для некоторых симметричных объектов (рисунок 4) из-за отсутствия информации о фазе отсчетов КФ. В этих случаях, а также и в тех случаях, когда прямое соответствие L_l и \hat{L}_l не может быть установлено, формируемые контуры \hat{L}_l можно использовать для оценивания изменения ориентации объекта относительно СК наблюдения.

Анализ гистограмм оценок положения первого локального минимума КФ 4-го порядка, полученных при различных величинах угла φ (рисунок 7), показывает, что при $\varphi = 0$ и $\varphi = \pi/2$ они характеризуются выраженной двухмодальностью и соответствуют гистограммам оценок, полученных в результате их численного моделирования [2].

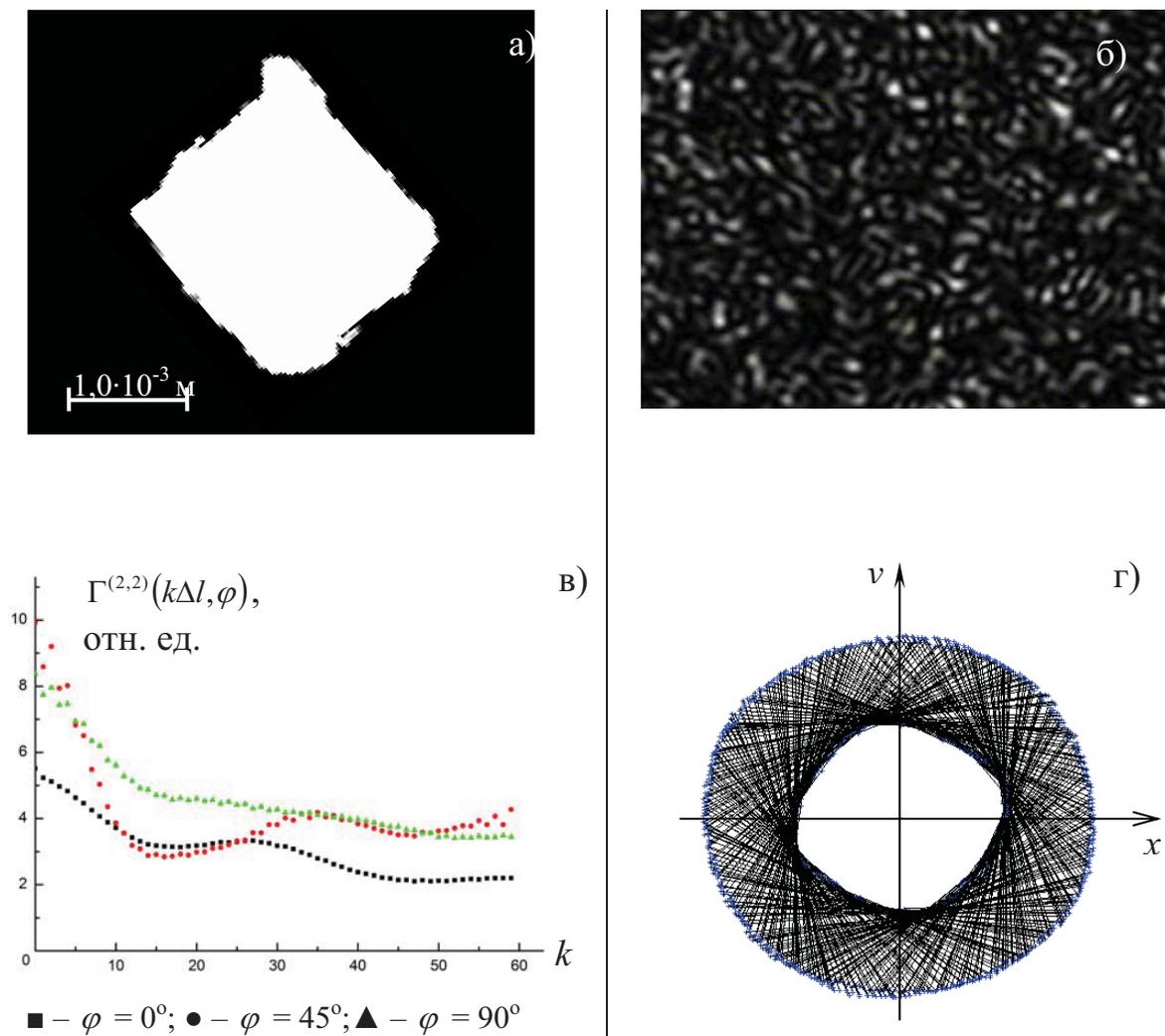


Рис. 4. Результаты экспериментальных исследований характеристик поля излучения, сформированного физической моделью объекта № 1.

- а – контур амплитудного транспаранта;
- б – типичная реализация отсчетов поля интенсивностей излучения;
- в – реализации КФ 4-го порядка, рассчитанные для различных значений угла φ ;
- г – результат реконструкции контура/

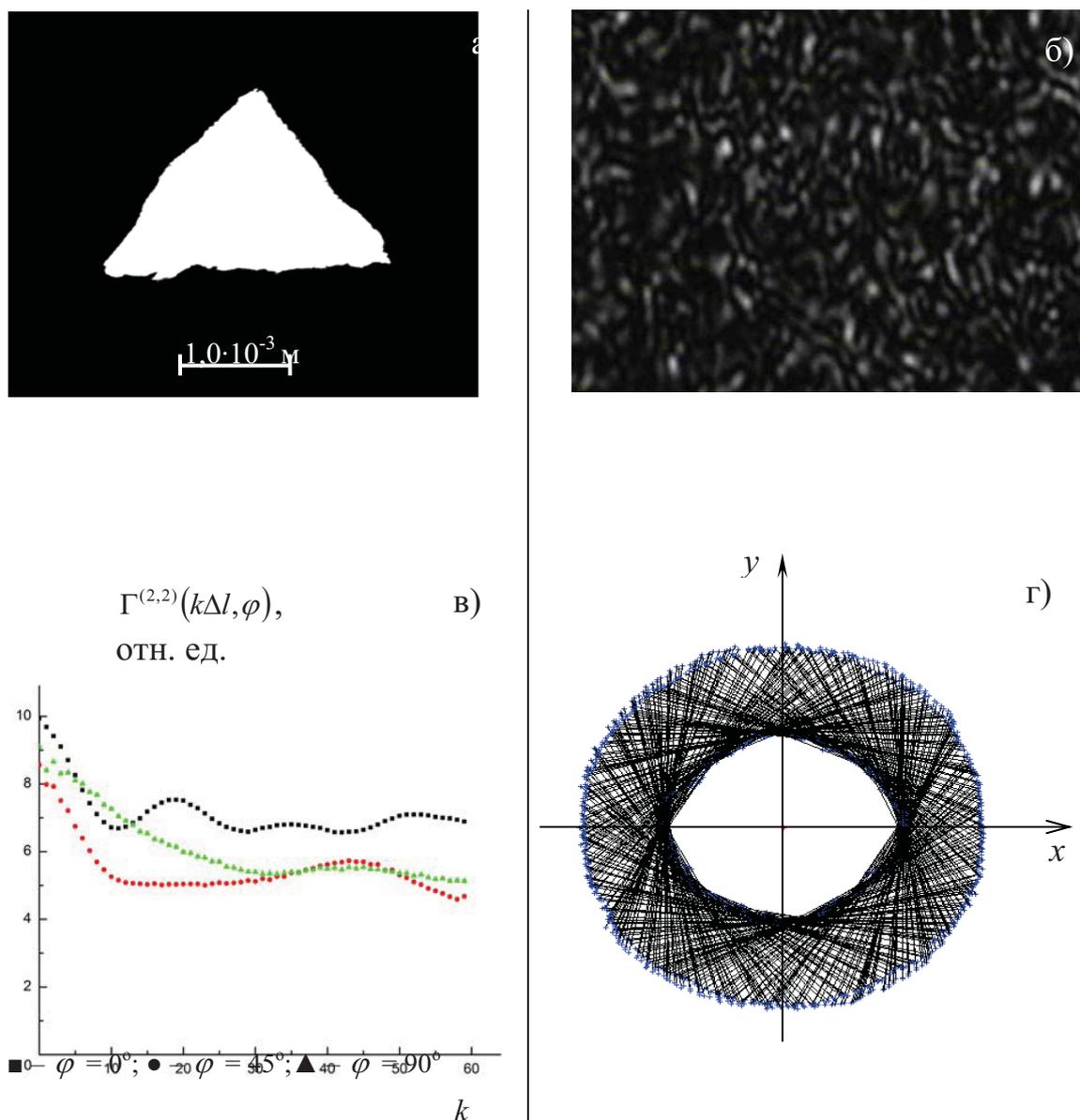


Рис. 5. Результаты экспериментальных исследований характеристик поля излучения, сформированного физической моделью объекта № 2.

- а – контур амплитудного транспаранта;
- б – типичная реализация отсчетов поля интенсивностей излучения;
- в – реализации КФ 4-го порядка, рассчитанные для различных значений угла φ ;
- г – результат реконструкции контура.

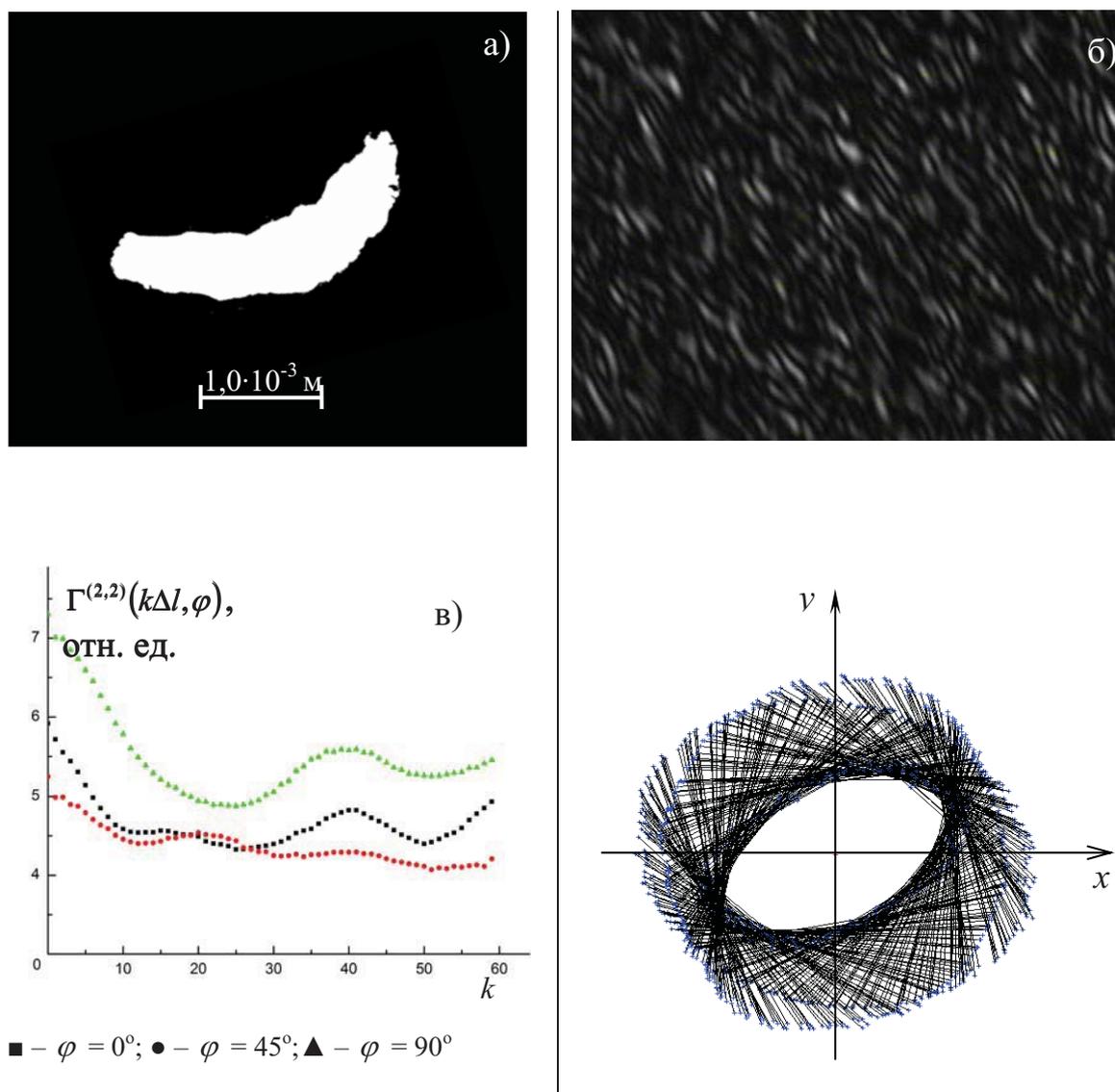


Рис. 6. Результаты экспериментальных исследований характеристик поля излучения, сформированного физической моделью объекта № 3.

- а – контур амплитудного транспаранта;
- б – типичная реализация отсчетов поля интенсивностей излучения;
- в – реализации КФ 4-го порядка, рассчитанные для различных значений угла φ ;
- г – результат реконструкции контура

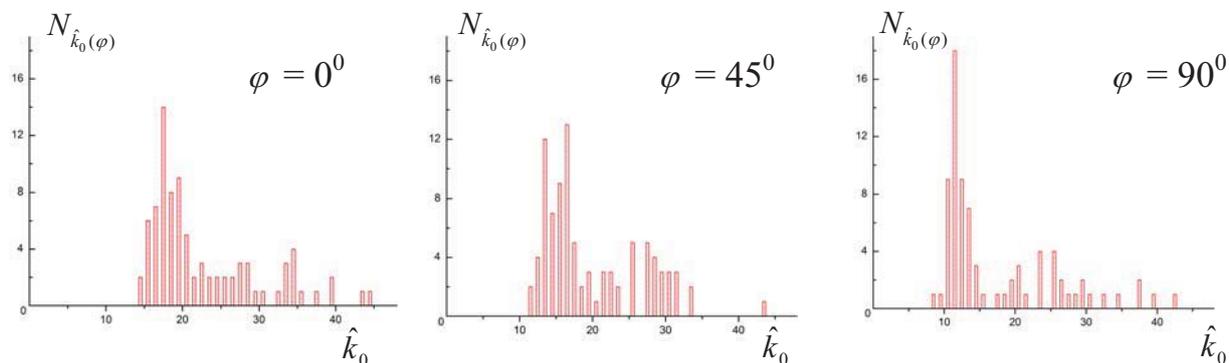


Рис. 7. Гистограммы оценок положения первого нуля КФ 4-го порядка, полученные при различных величинах угла φ при формировании поля излучения объектом № 2

Заключение

Результаты выполненных исследований показывают, что регистрация матричным фотоприемником отсчетов интенсивностей поля лазерного излучения, рассеянного лоцируемым объектом, и последующее определение совокупности оценок угловых размеров по параметрам КФ 4-го порядка обеспечивают возможность реконструкции контура этого объекта. В тех случаях, когда контур объекта представляет собой круг или эллипс, реконструированный контур с точностью до масштабного коэффициента совпадает с контуром объекта. В остальных случаях реконструированный контур может отличаться от контура лоцируемого объекта, однако его ориентация на модельной плоскости однозначно связана с ориентацией объекта относительно СК наблюдения.

Работа поддержана грантом ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» НК-530П/3.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Brown H.R., Twiss R.Q.* A test of a new type of stellar interferometer on Sirius // *Nature*, 1956. – V. 178. – Pp. 1046 – 1048.
2. *Бурый Е.В., Митрофанов А.Л.* Оценка функции когерентности 4-го порядка методом пространственной свертки и перспективы ее применения в лазерных информационных системах // *Квантовая электроника*, 1996. – Т. 23, № 5. – С. 460 – 464.
3. *Бурый Е.В., Митрофанов А.Л.* Точность измерения углового радиуса объекта по оценкам функции когерентности четвертого порядка в оптически однородных и турбулентных средах // *Квантовая электроника*, 1997. – Т. 24, № 1. – С. 82 – 84.
4. *Бурый Е.В., Рождествен В.Н.* Перспективы развития методов получения информации о форме объектов в лазерных локационных системах и способы ее использования // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение*. – 1998. – Спец. вып. – С. 62 – 67.
5. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Сов. радио, 1989. – 659 с.

6. Бурый Е.В., Семеренко Д.А. Применение жидких кристаллов для реализации управляемого фазового транспаранта // Вестник МГОУ. Физика-математика, 2011. – № 2. – С. 74 – 78.
7. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики. – М.: Мир, 1989. – 512с.

CONTOUR RECONSTRUCTION OF LOCATION OBJECT USING PARAMETERS OF CORRELATION FUNCTION OF 4th ORDER SCATTERED FIELD OF LASER IRRADIATION REGISTERED WITH MATRIX PHOTO DETECTOR

P. Arakcheev, E. Buryi, A. Maryanina, D. Semerenko

*Bauman Moscow State Technical University
5, 2nd Baumanskaya st., Moscow, 105005, Russia*

Abstract. The method of contour reconstruction of location object was proposed and investigated with usage of a physical model. This method is based on estimation angular dimension of an object with using parameters of correlation function 4th ordered of field irradiation. Assessment of every angular dimension can be getting from position of first local minimum of the correlation function. Counts for correlation function are formed as a result of calculation of one-dimensional convolution of counts field intensity which measured with array of photo detector. The results of an experimental investigation proving opportunity of reconstruction of object contour were shown at nonequidistant spatial placement photo sensitive elements.

Key words: correlation function, optical location, counter reconstruction of an object.

УДК 539.183.2; 539.183.4; 004.891.2

ФИЗИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПРОСТЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ ИЗОТОПОВ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИХ СВОЙСТВ

А.Н. Гусев

*Московский государственный областной университет
105005, Москва, ул. Радио, 10а*

Аннотация. Физическая система простых стабильных веществ и их изотопов построена на основе известных количественных значений физических параметров: атомный номер, атомная масса, число нейтронов в ядре, ядерная схема распада, период полураспада, спин, четность, энергия вылета нейтрона в схеме распада. Математическая модель физической системы позволяет каждый физический параметр выразить как функцию в виде аналитического выражения от остальных параметров и рассчитать его значения, если оно ещё неизвестно. Приведены результаты модельных расчетов неизвестных значений периода полураспада для изотопов кислорода, аргона и ванадия, а также энергии выделения нейтрона в схемах распада изотопов водорода, гелия, лития и бора.

Ключевые слова: система стабильных веществ и изотопов, атомный номер, атомная масса, нейтроны, схема распада изотопов, энергия вылета электрона, спин, чет-