

Н.Л. Казанский, Е.Б. Самолинова

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ АНАЛИЗА ДИФРАКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОКУСАТОРОВ

Одним из этапов автоматизированного изготовления элементов плоской оптики (ЭПО) является оценка качества их работы в процессе проектирования. Комплекс программ анализа дифракционных характеристик фокусаторов предназначен для расчета интенсивности излучения в фокальной области плоских оптических элементов и визуализации результатов средствами машинной графики. Возможность анализа фокусирующих свойств ЭПО без проведения натуральных экспериментов позволяет использовать итерационные методы их расчета [1]. Исследования в рамках вычислительного эксперимента энергетической эффективности и распределения интенсивности излучения в фокальной области фокусирующих элементов являются необходимыми для оптимизации решения обратной задачи, а также для выбора параметров дискретизации и квантования фазы и технологии изготовления ЭПО [1-3].

В зависимости от технологии изготовления и метода расчета фокусатора модели его фазовой функции могут быть различными. При изготовлении фокусатора с помощью многоградационного фотопостроителя типа PHOTOMATION P-1700 формируется матричная структура оптического элемента, фазовая функция которого может быть представлена в виде

$$\varphi(u, v) = \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^M \varphi_{kl} \operatorname{rect}\left(\frac{u-u_k}{\delta_u}\right) \operatorname{rect}\left(\frac{v-v_l}{\delta_v}\right), \quad (1)$$

где

N - количество элементов дискретизации по координате u ;

M - количество элементов дискретизации по координате v ;

φ_{kl} - значение фазы на элементе дискретизации;

u_k - центр элемента дискретизации по координате u ;

v_l - центр элемента дискретизации по координате v ;

δ_u - разрешение по u ;

δ_v - разрешение по v .

При использовании для изготовления радиально-симметричных оптических элементов фотопостроителя с круговым сканированием возникает следующая модель фокусатора:

$$\varphi(r) = \sum_{p=1}^N \varphi_p \operatorname{rect}\left(\frac{r-r_p}{\delta}\right), \quad (2)$$

где

N - количество колец разрешения на оптическом элементе;

φ_p - значение фазы на p -ом кольце;

r_p - радиус центра p -го кольца.

Частным случаем (1) является цилиндрический ЭПО, фазовая функция которого имеет вид

$$\varphi(u) = \sum_{k=1}^N \varphi_k \operatorname{rect}\left(\frac{u-u_k}{\delta}\right), \quad (3)$$

где

N - количество элементов дискретизации;

φ_k - значение фазы на элементе дискретизации;

u_k - центр элемента дискретизации;

δ - разрешение.

Общий подход к расчету распределения интенсивности светового поля заключается в следующем. Поле от ЭПО на основе принципа суперпозиции световых полей и принятой модели фазовой функции фокусатора рассчитывается в виде суммы вкладов от каждого элемента дискретизации. Ввиду малости размеров фокусатора по сравнению с фокусным расстоянием, поле от элемента дискретизации с достаточной степенью точности может быть вычислено в приближении Френеля [4,5].

Способ расчета дифрагированного поля определяется формой элементов дискретизации данного фокусатора. Дифракционный интеграл для кольцевого элемента дискретизации ЭПО (2) рассчитывается с помощью разложения в ряд по функциям Ломмеля [3,6]. Поле от линейного элемента дискретизации рассчитывается методом локальной линейной аппроксимации фазовой составляющей [7]. Расчет для прямоугольного элемента раstra путем факторизации сводится к предыдущему случаю.

Комплекс программ анализа дифракционных характеристик ЭПО включает в себя средства для решения двух взаимосвязанных задач: расчета и исследования тонкой структуры светового поля в фокальной области фокусаторов. Для удобства работы исследователя предусмотрены средства визуализации полученных результатов в виде полутонковых распределений яркости, изометрических и аксонометрических проекций двумерных полей, графиков. Указанные цели определяют структуру комплекса, состоящего из нескольких частей.

Первая часть комплекса содержит программы поточечного расчета интенсивности в фокальной области. Их целесообразно использовать для определения энергетических характеристик фокусаторов и анализа распределения интенсивности в фокальной области. Они предоставляют возможность расчета интенсивности поля на любом участке фокальной области с произвольным шагом. На основании принятой модели фокусирующий элемент задается своими размерами, параметрами дискретизации и массивом отсчетов фазовой функции в центрах элементов раstra. Предусмотрена возможность расчета для освещающих пучков различной конфигурации и амплитудного распределения. Они определяются длиной волны излучения, массивом отсчетов амплитудного распределения в центрах элементов дискретизации и фокусным расстоянием (для сходящихся пучков). Входными данными являются также координаты точки наблюдения.

Первая часть комплекса состоит из следующих программ.

Программа ISOF осуществляет расчет интенсивности поля в точке фокальной области радиально-симметричного ЭПО, фокусирующего сходящийся сферический пучок света.

Программа ISOP производит аналогичный расчет для плоского пучка.

Программы INSFRE и INTFRE осуществляют расчет интенсивности поля в точке фокальной области цилиндрического ЭПО для сходящегося цилиндрического и плоского пучков соответственно.

Программы REP1 и PLO1 производят расчет для матричного ЭПО, освещаемого сходящимся сферическим и плоским пучками соответственно.

Выходным параметром для каждой программы является значение интенсивности поля в точке наблюдения.

Вторую часть комплекса составляют программы, осуществляющие расчет матрицы отсчетов интенсивности поля в фокальной области ЭПО. Они используются при подготовке массивов данных для визуализации результатов вычислительного эксперимента. Для этого типа задач характерны большой объем вычислений, зависящий от размеров области наблюдения и параметров дискретизации, а также необходимость хранения результатов расчета для последующего анализа. Эта специфика определила использование базы данных пакета прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии (ППП ОИ и ЦГ) [8] для записи результатов в рабочий файл на магнитном диске [9]. ППП ОИ и ЦГ обеспечивает получение, хранение и удобство работы с данными расчета.

Входными данными для этих программ являются массивы отсчетов фазовой функции ЭПО и амплитудного распределения освещающего пучка, размеры области наблюдения, параметры дискретизации ЭПО и области наблюдения и параметры оптической схемы.

Программы MISF и MISP осуществляют расчет и запись в рабочий файл на МД матрицы отсчетов интенсивности поля в меридиональном сечении фокальной области радиально-симметричного ЭПО, освещенного сходящимся сферическим или плоским пучком соответственно.

Программы MINS и MINT предназначены для аналогичного расчета поля от цилиндрического ЭПО, фокусирующего сходящийся цилиндрический (MINS) или плоский (MINT) пучок.

Программы REP2 и PLO2 осуществляют аналогичный расчет и запись поля в сечении фокальной области, параллельном фокальной плоскости матричного ЭПО, фокусирующего сходящийся сферический или плоский пучок соответственно.

Выходными данными для этой группы программ являются поле в рабочем файле и его шифр.

Третью часть комплекса составляют программы, осуществляющие визуализацию результатов эксперимента на графопостроителе или графдисплее [10]. Входные данные для их работы формируют программы матричного расчета. Программы визуализации используют комплекс графических программ ГРАФОР [11].

Программа PRPF предназначена для визуализации двумерных полей, находящихся в рабочем файле.

Программа ISLF осуществляет построение линий уровня двумерных полей.

Программа GRF предназначена для построения графика или семейства графиков.

На основе описанных базисных программ строятся головные программы моделирующей части комплекса. Моделирующие программы позволяют оценить энергетическую эффективность исследуемого фокусатора в зависимости от его физических параметров, параметров дискретизации и квантования фазовой функции, а также получить и наглядно представить соответствующие распределения интенсивности сфокусированного излучения. При этом расчет и кодирование фазовой функции фокусатора осуществляется с помощью соответствующих программных средств комплекса программ синтеза пространственных фильтров [12-14]. В настоящее время созданы моделирующие программы для фокусаторов в кольцо, крест, отрезок, полукольцо, ЭПО с повышенной глубиной фокуса и др.

Программное обеспечение реализовано на языке Фортран в операционной системе СВМ ЕС. Тестирование комплекса осуществлялось путем сравнения результатов расчета с известными решениями задач теории дифракции [6]. На рис. 1 представлен график распределения интенсивности вдоль оптической оси цилиндрической

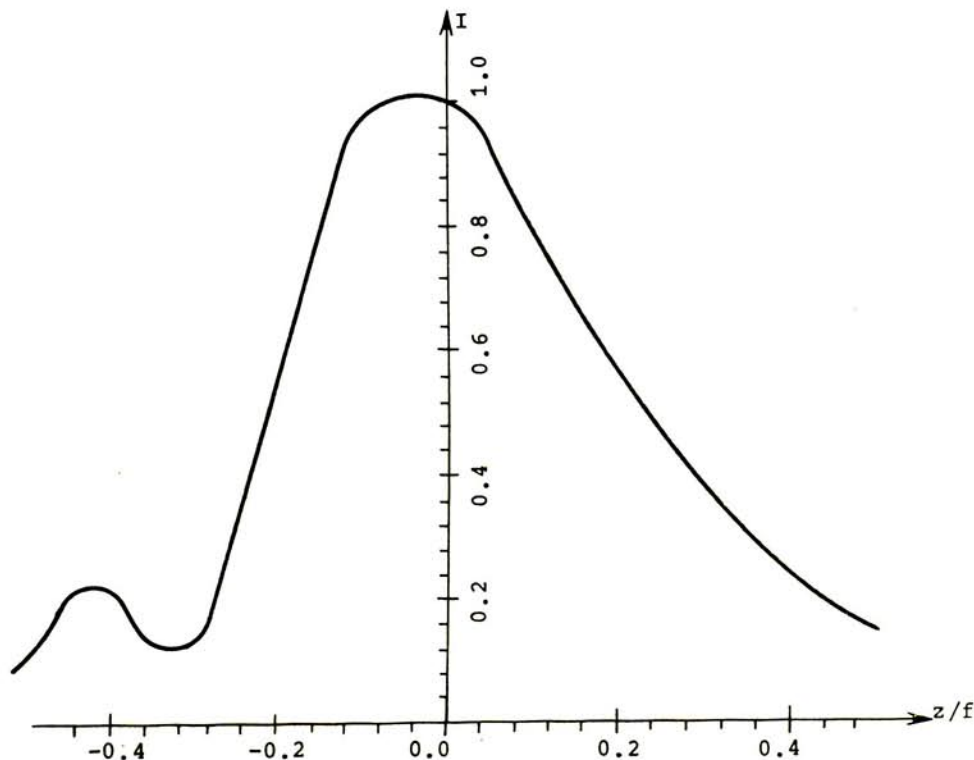


Рис. 1. Поле вдоль оптической оси цилиндрической линзы

линзы, полученный с помощью разработанного программного обеспечения. Этот результат хорошо согласуется с данными работы [15].

С помощью комплекса программ проведены расчеты дифракционных характеристик фокусаторов различных типов: фокусатора в кольцо, ЭПО с повышенной глубиной фокуса и др. [3]. На рис. 2 представлено распределение интенсивности поля в фокальной плоскости фокусатора в крест с повышенной яркостью в центре. Анализ структуры светового поля в фокальной области исследованных ЭПО позволил определить зависимость энергетической эффективности от физических параметров и параметров дискретизации фокусирующих элементов, а также пределы применимости геометрооптических представлений, заложенных в основу расчета фокусаторов. Расчетные распределения интенсивности светового поля в сечениях фокальной области согласуются с результатами экспериментальных исследований ЭПО.

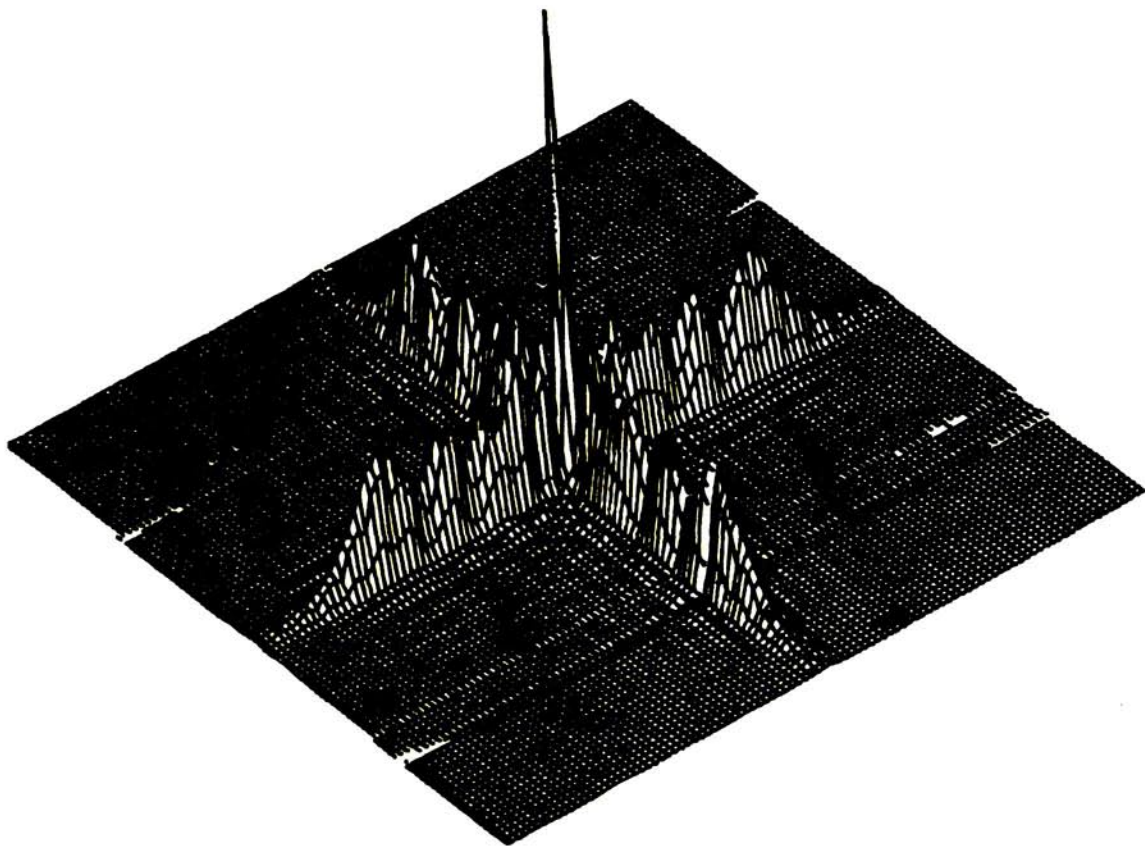


Рис. 2. Поле в фокальной плоскости фокусатора в крест с повышенной яркостью в центре

Проведенная с помощью разработанного комплекса программ серия вычислительных экспериментов подтверждает эффективность используемых алгоритмов, а также удобство хранения, представления и анализа результатов расчета.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. К а з а н с к и й Н.Л. Процедура корректировки фазовой функции фокусатора по результатам вычислительного эксперимента. - В сб.: Компьютерная оптика. М.: МЦНТИ, 1987. Вып. 1, с. 90-96.

2. С и с а к я н И.Н., С о й ф е р В.А. Компьютерная оптика. Достижения и проблемы. - В сб.: Компьютерная оптика. М.: МЦНТИ, 1987. Вып. 1, с. 5-19.

3. Голуб М.А., Казанский Н.Л., Сисакян И.Н., Сойфер В.А. Вычислительный эксперимент с элементами плоской оптики // Автоматрия, 1988, № 1, с. 70-82.
4. Southwell W.H. Validity of the Fresnel Approximation in the Near Field // JOSA, 1981, v. 71, № 1, p. 7-14.
5. Goodman G. Scalar-diffraction Line Response // JOSA, 1982, v. 72, № 11, p. 1560-1563.
6. Казанский Н.Л. Вычислительный эксперимент с линзой Френеля. - В сб.: Компьютерная оптика. М.: МЦНТИ, 1988. Вып. 3.
7. Gravelsaeter T., Stammes J.J. Diffraction by Circular Apertures. 1: Method of Linear Phase and Amplitude Approximation // Appl. Opt., 1982, v. 21, № 20, p. 3644-3651.
8. Пакет прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии: Государственный фонд алгоритмов и программ. - Рег. № П004582 от 01.09.1980.
9. Белоусова М.П., Сергеев В.В., Тахтаров Я.Е. Пакет прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии. Система управления базой данных / Под ред. В.А. Сойфера. Куйбышев: КуАИ, 1987.
10. Базарбаев А.А. и др. Пакет прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии. Обслуживающие и вспомогательные программы / Под ред. В.А. Сойфера. Куйбышев: КуАИ, 1987.
11. Баяковский Ю.М., Галактионов В.А., Михайлова Т.Н. ГРАФОР. Графическое расширение Фортрана. М.: Наука, 1985.
12. Бамбулевич К.Э., Голуб М.А., Казанский Н.Л. Пакет прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии. Общая характеристика программ синтеза пространственных фильтров. Программы формирования выводного файла на внешний носитель / Под ред. В.А. Сойфера. Куйбышев: КуАИ, 1984.
13. Бамбулевич К.Э., Голуб М.А., Казанский Н.Л. Пакет прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии. Программы синтеза искусственных оптических элементов / Под ред. В.А. Сойфера. Куйбышев: КуАИ, 1984.
14. Бамбулевич К.Э., Голуб М.А., Казанский Н.Л. Пакет прикладных программ обработки изображений и цифровой голографии. Программы кодирования и квантования фильтров / Под ред. В.А. Сойфера. Куйбышев: КуАИ, 1984.
15. Дементьев А.С., Домаркене Д.П. Фокальный сдвиг при дифракции сфокусированного излучения на малом прямоугольном отверстии // Литовский физический сборник, 1984, т. 24, № 3, с. 59-68.