

В. А. ГРИММ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Рассматриваются вопросы представления структурированных поверхностей для расчета оптических систем. В рамках программы Modeling Optical System (MOPS) предложен оригинальный способ задания их параметров в виде набора функций от номера зоны элемента поверхности. Приведены формулы для описания параметров как френелевских, так и растровых структурированных поверхностей. В качестве примера использования нового типа поверхностей приведены результаты расчета френелевской линзы.

Ключевые слова: растр, оптика, алгоритм программы.

Под структурированными поверхностями понимаются два их вида — френелевские и растровые. Такие поверхности находят широкое применение при оптических расчетах систем для передачи и концентрации световой энергии, для решения задач освещения и формообразования светового пятна. В известных оптических программах (ZEMAX, OSLO, CODE V) структурированная поверхность описывается набором параметров, не зависящим от номера зоны поверхности. В разработанной автором настоящей статьи оптической программе MOPS (Modeling Optical System) [см. лит.] предложен способ задания параметров структурированной поверхности в виде набора функций от номера зоны явным образом, что можно назвать функциональным описанием параметров поверхности. Положительным результатом такого подхода является наглядность в представлении параметров конкретной зоны и сокращение числа параметров в задании на расчет. При этом абберрационные возможности структурированной поверхности хотя и снижаются, но в плане решения практических задач остаются высокими.

Наибольшие трудности при функциональном задании структурированной поверхности возникают при определении характеристик зон френелевской поверхности. На рис. 1 показана френелевская поверхность в сечении меридиональной плоскостью.

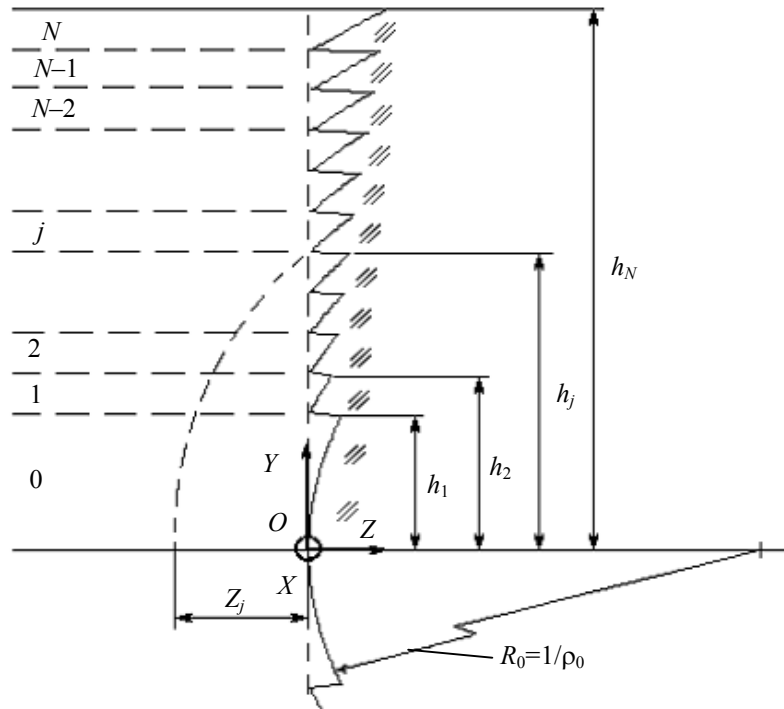


Рис. 1

Высоты зон h_j определяются в направлении оси OY . Поверхность зоны в этом случае описывается уравнением 2-го порядка (тогда как в программе CODE V, например, — полиномом до 20-й степени по радиус-вектору)

$$Ix^2 + Jy^2 = \frac{2}{\rho_j}z + A_j z^2,$$

где кривизна ρ_j в вершине элемента поверхности зоны и параметр асферизации A_j являются функциями номера зоны j :

$$\rho_j = \rho_0 + cj + bj^2; \quad A_j = A_0 + aj, \quad j=0, 1, \dots, N,$$

а параметры I, J определяют вид поверхности:

$I = 1, J = 1$ — поверхность вращения с осью симметрии OZ ;

$I = 0, J = 1$ — цилиндрическая поверхность с плоскостью симметрии XOZ ;

$I = 1, J = 0$ — цилиндрическая поверхность с плоскостью симметрии YOZ .

Свободные параметры ρ_0, c, b, A_0 и a могут использоваться для оптимизации абберационных характеристик данных поверхностей.

При дальнейшем изложении под обозначением u или h будем понимать либо радиус-вектор для поверхности вращения, либо одну из координат x, y для цилиндрической поверхности.

Ширина Δ_j и высота h_j зоны определяются через заданные минимальную h_1 и максимальную h_N высоты зон:

— для линейной разбивки

$$\Delta_j = \Delta = (h_N - h_1) / N; \quad h_j = h_1 + j\Delta,$$

— для квадратичного способа разбивки

$$\Delta = (h_N^2 - h_1^2)/N; \quad h_j = \sqrt{h_1^2 + j\Delta}, \quad \Delta_j = h_{j+1} - h_j.$$

Для $j = 0$ принято $h_0 = 0$.

Для расчета луча, проходящего через j -ю зону, необходимо знать положение вершины j -й поверхности в системе координат структурированной поверхности, совпадающей в пространстве с положением 0-й зоны. Для френелевской поверхности $X_j = Y_j = 0$, а положение вершины j -й поверхности на оси OZ определяется формулой

$$Z_j = \frac{-1 + \sqrt{1 + (\rho_j h_j)^2 A_j}}{\rho_j A_j}.$$

Для $\rho_j = 0$ (плоскость) $Z_j = 0$, для $A_j = 0$ (парабола) $Z_j = \frac{1}{2}\rho_j h_j^2$, для $\rho_j > 10^6$ (конус)

$$Z_j = h_j / \sqrt{A_j}.$$

В случае растровых поверхностей $Z_j = 0$, а координаты вершин по осям OX и OY определяются положением центров зон:

$$X_j, Y_j = 0,5(h_{j+1} + h_j).$$

Глубина проточки j -й зоны на высоте y , а также текущая координата луча δZ по оси OZ в системе координат структурированной поверхности определяются путем решения системы уравнений для орта луча и j -й поверхности. Координаты точки пересечения луча с поверхностью определяются с учетом ограничения $h_j \leq y < h_{j+1}$. В результате последующего перехода в систему координат 0-й зоны имеем

$$\delta Z = Z - Z_j, \quad Z = \frac{-1 + \sqrt{1 + (\rho_j y)^2 A_j}}{\rho_j A_j}.$$

Таким образом, многообразие видов структурированных поверхностей — и френелевских, и растровых как на поверхностях вращения, так и на цилиндрических поверхностях — реализуется единообразно путем задания пяти целочисленных констант и шести действительных чисел: h_N, h_1, c, b, A_0, a . Радиус R_0 кривизны 0-й зоны задается в массиве радиусов поверхностей системы. К целочисленным константам относятся:

I, J — признаки вида поверхности ($I, J = 0, 1$);

K ($K=1, 2, 3$) — условный номер оси (OX, OY, OZ), на которой расположены вершины;

L — признак способа разбивки на зоны ($L = 0, 1$);

N — количество зон ($N = 0, 1, \dots, 999$).

Предложенный способ задания параметров структурированных поверхностей допускает возможность устанавливать обособленный размер 0-й зоны, отличный от шага разбивки, и не имеет ограничений на задание четного или нечетного числа зон. При четном числе зон параметр h_1 задается равным нулю.

Пример. Приведем результаты расчета френелевской линзы, обеспечивающей минимум aberrаций в осевом пучке лучей для бесконечно удаленного предмета. Входная апертура пучка 60 мм, длина волны излучения 0,546 мкм, фокусное расстояние линзы 100 мм. Материал линзы — стекло К8 или ВК7. Френелевская поверхность расположена второй по ходу падающих лучей (со стороны изображения) и может быть как круговой, так и цилиндрической. Точка фокусировки находится на расстоянии 100 мм. Толщина линзы при таком положении

френелевской поверхности на результат абберационной коррекции не влияет и может быть выбрана равной 4 мм, что обеспечивает достаточную жесткость.

Схема фокусирующей линзы с использованием френелевской поверхности приведена на рис. 2.

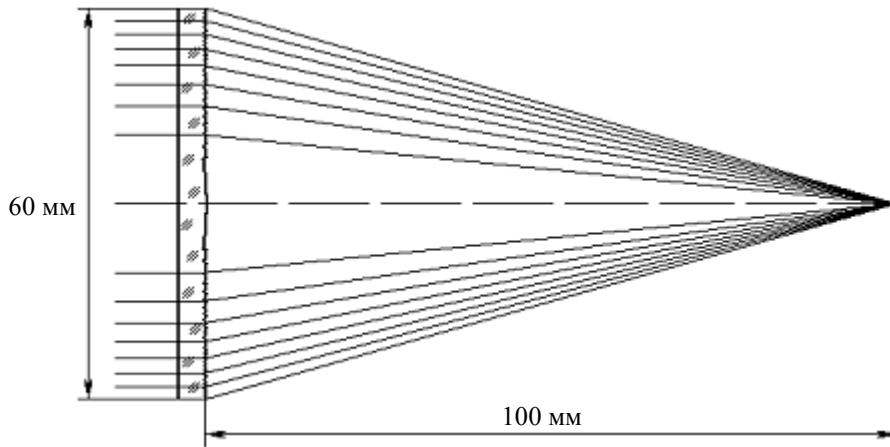


Рис. 2

В качестве коррекционных параметров в данной системе использовались параметры c , b , A_0 , a . В результате минимизации поперечных аббераций более чем 20 лучей осевого пучка наилучший результат получился для френелевской поверхности с квадратичным шагом разбивки при высоте центральной зоны 7 мм. Элементы поверхности зон — гиперболического вида с переменным эксцентриситетом e_j^2 и кривизной в вершине каждой зоны:

$$A_j = e_j^2 - 1 = 1,207075 - 0,000828j;$$

$$\rho_j = \frac{1}{-51,872} - 0,0000541j + 0,000000184j^2;$$

$$h_{25} = 30 \text{ мм}, h_1 = 7 \text{ мм}, N = 25;$$

$$A_0 = 1,207075; a = -0,000828; \rho_0 = -0,0192782; c = -0,0000541; b = 0,000000184.$$

В табл. 1 представлена абберационная оценка рассчитанной системы для осевого пучка лучей. Рассчитанные параметры поверхности каждой зоны френелевской поверхности сведены в табл. 2.

Таблица 1

Высота луча на 1-й поверхности, мм	Поперечная абберация, мм	Тангенс угла наклона луча к оси OZ	Волновая абберация, в долях длины волны
30,0	0,018483	0,299815	0,22
28,062	-0,00417	0,280092	0,19
25,981	-0,00124	0,259517	-0,34
23,717	0,002311	0,237086	-0,21
21,213	-0,00814	0,211704	0,43
18,371	-0,00135	0,183452	0,24
15,0	0,004847	0,14987	0,46
10,606	0,003254	0,105738	0,02
7,5	0,0065	0,074883	0,23
5,303	-0,00277	0,052918	-0,08
0	0	0	0

Таблица 2

Номер зоны j	Радиус R_j в вершине, мм	Смещение вершины по оси OZ , мм	Максимальная глубина проточки, мм	Эксцентриситет $e_j^2 = A_j + 1$	Начальная и конечная высота зоны, мм	
					h_j	h_{j+1}
0	-51,8725	0	0,4697449	2,20707	0	7
1	-51,7278	0,4710465	0,3242429	2,20625	7	9,112629
2	-51,5848	0,7974576	0,3227115	2,20542	9,112629	10,82035
3	-51,4437	1,123174	0,3211921	2,20459	10,82035	12,29309
4	-51,3042	1,448179	0,3196849	2,20376	12,29309	13,60735
5	-51,1665	1,772456	0,3181899	2,20293	13,60735	14,8054
6	-51,0305	2,095989	0,3167071	2,20211	14,8054	15,91352
7	-50,8962	2,418766	0,3152367	2,20128	15,91352	16,94934
8	-50,7635	2,740771	0,3137788	2,20045	16,94934	17,9254
9	-50,6325	3,061992	0,3123333	2,19962	17,9254	18,85099
10	-50,5031	3,382417	0,3109003	2,19879	18,85099	19,73322
11	-50,3752	3,702036	0,3094798	2,19797	19,73322	20,57766
12	-50,249	4,020836	0,3080718	2,19714	20,57766	21,38878
13	-50,1243	4,338808	0,3066762	2,19631	21,38878	22,17025
14	-50,0011	4,655943	0,3052932	2,19548	22,17025	22,92509
15	-49,8795	4,972231	0,3039226	2,19465	22,92509	23,65587
16	-49,7593	5,287666	0,3025644	2,19383	23,65587	24,36473
17	-49,6407	5,602239	0,3012187	2,193	24,36473	25,05354
18	-49,5235	5,915942	0,2998853	2,19217	25,05354	25,72392
19	-49,4077	6,22877	0,2985641	2,19134	25,72392	26,37726
20	-49,2934	6,540716	0,2972553	2,19051	26,37726	27,01481
21	-49,1805	6,851775	0,2959585	2,18969	27,01481	27,63766
22	-49,0691	7,161941	0,2946739	2,18886	27,63766	28,24677
23	-48,959	7,47121	0,2934014	2,18803	28,24677	28,84302
24	-48,8502	7,779577	0,2921408	2,1872	28,84302	29,4272
25	-48,7429	8,087038	0,2908921	2,18637	29,4272	30

В заключение следует отметить достигнутую компактность в представлении параметров структурированных поверхностей, что выражается в малом числе независимых параметров h_N, h_1, c, b, A_0, a , а также их очевидную самодостаточность для эффективной оптимизации характеристик оптической системы.

ЛИТЕРАТУРА

Гримм В. А., Карасев В. Б., Кузьмин Ю. В. и др. Лазерные и микроволновые оптические системы. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2005. 232 с.

Сведения об авторе

Вячеслав Антонович Гримм

— Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра лазерной техники и биомедицинской оптики; ст. науч. сотрудник; E-mail: mopsat@mail.ru

Рекомендована кафедрой лазерной техники и биомедицинской оптики

Поступила в редакцию 29.11.06 г.