УДК 681.7.013+681.7.062

С.Л. Канделинский, науч. сотр.;
В.В. Ткаченко, зав. лабораторией, канд. техн. наук;
С.И. Утехин, ведущ. инженер-конструктор
(Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск)

КОНСТРУКТИВНАЯ ГЕОМЕТРИЯ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ РАЗВЕРТЫВАЮЩИХ СИСТЕМ С ПАРАБОЛИЧЕСКИМИ ЗЕРКАЛАМИ ДЛЯ ПЕЧАТНОГО И ДОПЕЧАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Сканирующие оптико-механические системы (ОМС) широко используются в устройствах ввода/вывода графической информации при решении различных задач: для получения голографических изображений и форм полиграфической печати, для силовой лазерной обработки (лазерная резка, сварка, скрайбирование), и в иных случаях, когда выполняется сканирование изображений, например, в тепловизорах. Оптические системы сканирования, используемые в допечатном оборудовании (сканерах, принтерах) и цифровых печатных машинах можно свести к двум основным видам: с механическим перемещением вдоль линий растра лазерной головки и фокусировки луча в поле сканирования кадра, либо формирование подвижного сфокусированного пучка с помощью телецентрических объективов и/или полосовых параболоидных зеркал, в зоне переднего фокуса которых, для угловой развертки пучка, размещается дефлектор – отклоняющее устройство с качающимся зеркалом или вращающейся многогранной призмой [1].

Первые обеспечивают хорошую прямолинейность (микроны на метр длины), но их производительность невелика. Вторые имеют относительно высокую производительность, но малые размеры сканируемой строки из-за масса-габаритных ограничений. Потенциально параболоидные зеркальные системы по сравнению с линзовыми объективами, в качестве которых часто используются специальные Fθ объективы, позволяют получить более широкий пучок выходных лучей и при меньшей массе. Препятствием к получению максимальной длины строки в возможном случае меридиональных (осевых) параболоидных отражателей является перекрытие выходных пучков в зоне фокуса параболоида, где должен размещаться дефлектор. Исходная проблемная ситуация связана с противоречием: плоскость угловой развертки луча, отраженного от зеркала дефлектора, должна быть расположена в осевом (меридиональном) сечении целого параболоида, чтобы получить максимально длинную прямолинейную строку растра, и не должна быть в осевом сечении параболоида, чтобы не перекрывать выходную строку растра поворачивающимся зеркалом дефлектора, которое должно находиться в фокусе целого параболоида. Данное противоречие разрешается по логике системных переходов ТРИЗ [2] в виде найденного нами оптико-геометрического эффекта (интерпретации постулатов аналитической геометрии теоремы), который заключается в следующем: геометрическим местом точек пересечения действительного конуса с параболоидом, ось которого принадлежит поверхности конуса, фокус совпадает с вершиной конуса, а их оси и одноименные оси их направляющих компланарны, являются плоские линии. Причем линия пересения, обращенная к вершине параболоида, является эллипсом, а другая линия, с противоположной стороны конуса к его вершине – параболой; при этом образующие конуса нижней полости «отражаются» (согласно закону отражения) от поверхности параболоида в виде лучей, принадлежащих плоскости и параллельных оси параболоида. Математическую модель, демонстрирующую указанный эффект, системы коникоидов (согласно определению поверхностей второго порядка) можно представить, как решение системы уравнений второй степени (для эллиптического конуса, который лежит на оси $0z$, и эллиптического параболоида, соответственно, и согласно условиям, сформулированной выше теоремы). В случае кругового параболоида с фокальным радиусом $r = 2f$, исходящим из начала координат, и кругового конуса уравнения приобретают следующий вид:

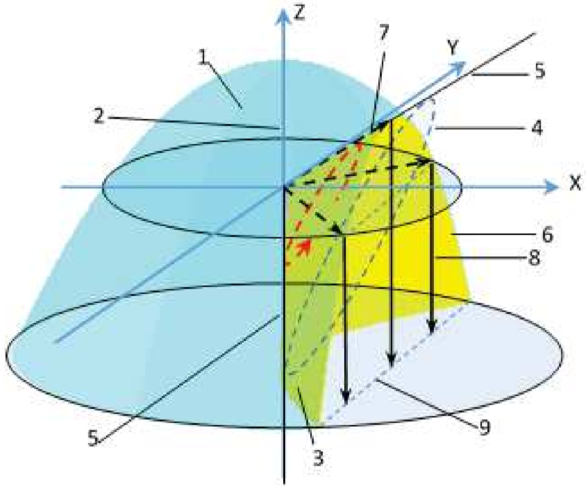
$$x^2 + y^2 = 4f(f - z) \tag{1}$$

$$x^2 \cos 2\beta + y^2 \cos^2 \beta + x\,z \sin 2\beta = 0, \tag{2}$$

где β – угол при вершине конуса, на который повернута ось конуса в плоскости $x0z$ относительно оси $0z$, которая является осью симметрии параболоида, а его фокус и вершина конуса находятся в начале координат. Подстановка выражения для x^2 из формулы (1) в уравнение (2) дает решение в виде уравнения, описывающего множество линий пересечения конуса и параболоида на разных расстояниях $x > 0$ от плоскости, которой принадлежит линия пересечения, до оси родительского параболоида:

$$z = (y^2 \sin^2 \beta + 4f^2 \cos 2\beta)/(4f \cos 2\beta - x \sin 2\beta). \tag{3}$$

Так как все исходящие из фокуса лучи имеют направления радиусов параболоида $r = 2f - z$, то луч, лежащий в плоскости $x0z$, пересекает параболоид в точке (x_0; 0; z_0), которая является вершиной (центром) отражателя. Координаты этой точки: $x_0 = 2f\,\mathrm{ctg}\beta$, $z_0 = f\,(1 - \mathrm{ctg}^2\beta)$; откуда следует, что угол $\beta = \mathrm{arcctg}(x_0/2f)$ и может быть задан расстоянием $x = x_0$. На рисунке 1 показан пример, иллюстрирующий случай хода лучей, рассчитанный для значений β = 1 радиан и $f = 1/2$, при которых $z_0 = 0{,}294$; $x_0 = 0{,}642$.



1 – параболоид; 2 – ось симметрии; 3 – конус; 4 – направляющая конуса; 5 – образующие конуса; 6 – плоское параболическое сечение; 7 – падающие лучи; 8 – отражённые лучи; 9 – линия сканирования

Рисунок 1 – Ход лучей в системе коникоидов параболоид – конус

Выбор угла β при вершине лучевого конуса 3 вместе с расстоянием от линии развертки до оси 0z зависит от ограничений, связанных с требованиями к параметрам пучка и конструкции дефлектора. Реальный размер отражателя дефлектора должен быть меньше потенциального (расчётного) на не менее, чем радиус пучка. Для зеркального дефлектора, у которого ось вращения или колебаний зеркала находится в его отражающей плоскости, входной пучок направляют вдоль оси параболоида через его вершину. В этом случае, чтобы исключить перекрытие сканирующего пучка, угол β должен быть не больше, чем $(\pi/2) - \delta$, где $\delta \geq \mathrm{arctg}((s_M+s_B)/(2f))$ – угол между осью 0z и нормалью к зеркалу в тот момент, когда оно ортогонально плоскости x0z, s_B и s_M – ширина выходного пучка и габариты подвижной части дефлектора вдоль оси x. Проведено моделирование различных случаев конструктивной геометрии ОМС с использова–нием инструментов программного приложения MathCAD. На рисунке 2 представлены результаты, подтверждающие справедливость формул (1), (2), (3) и для случая внеосевого эллипсоидного параболоидного отражателя в ОМС с однозеркальным дефлектором, ось вращения зеркала которого лежит в плоскости его отражающей поверхности и проходит через фокус. Для случая многогранной призмы, отражаю–щие грани которой при вращении выходят из фокуса параболи–ческого зеркала, нарушая в некоторой малой степени телецентричность хода лучей на выходе, показано, что при достаточно небольшом смещении зеркала от центра вращения эта ошибка на длине параболического зеркала 812,8 мм составляет 6,35 мм, т. е. находится в пределах требуемой точности при относительном смещении 0,78 %.

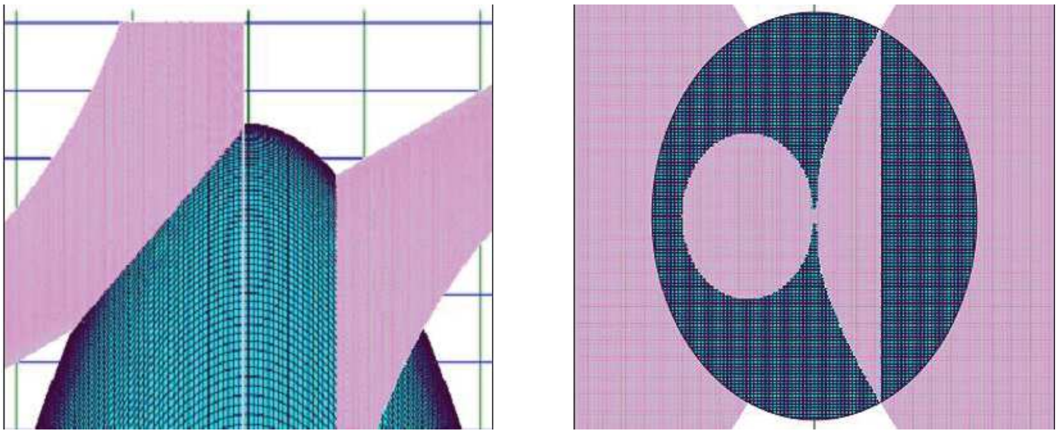


Рисунок 2 – Пересечения эллиптических параболоида и конуса – виды сбоку и сверху с одинаковой ориентацией коротких осей, направляющих в плоскости x0z

Наилучшие показатели производительность – точность достигаются в многоканальных системах, в которых комбинируются системы первого и второго видов с замкнутыми контурами управления, обеспечивающими прямолинейность строки в диапазоне от 10^{-5} до 10^{-6}.

Заключение. Сформулирована задача о формировании прямо–линейного строчного растра в ОМС с внеосевым параболическим отражателем и получено её концептуальное решение. Моделиро–ванием системы коникоидов на основе законов геометрической оптики показаны условия формирования развертывающей плоскости для телецентрического хода лучей вдоль линии строчной развертки с длиной, больше удвоенного фокуса параболоида (2*f*), в пределах которой обеспечивается непрерывная геометрически прямая линия развертки сканируемой поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самарин, Ю. Н. Конструирование и расчет формного оборудования: Учеб. для вузов. М.: Изд-во МГУП. 1999. – С. 73-75.

2. Альтшуллер Г. С. Найти идею: Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач. 5-е изд. М.: Альпина Паблишер, 2012. – 440 с.