

На правах рукописи



Иванникова Наталия Владимировна

**Геометрические модели, алгоритмы проектирования  
и поиска эффективных параметров рефлекторов  
технологического назначения**

Специальность 05.01.01 – Инженерная геометрия и компьютерная графика

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Нижний Новгород – 2017

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»

**Научный руководитель**  
профессор, доктор технических наук  
Юрков Виктор Юрьевич

**Официальные оппоненты:**

**Аюшеев Тумэн Владимирович**, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Инженерная и компьютерная графика» ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления»;

**Маркин Леонид Владимирович**, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры инженерной графики ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»

Защита состоится «30» мая 2017 г. в 13-00 часов на заседании диссертационного совета Д 999.048.02 при ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.А. Алексеева» по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65, аудитория 202 (5 корп.)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте организации [www.nngasu.ru](http://www.nngasu.ru).

Автореферат разослан «27» апреля 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Н.Д. Жилина

## **Общая характеристика работы**

### **Актуальность темы исследования.**

В случае, когда источник энергии значительно удален от облучаемой поверхности, прямое излучение распределяется практически равномерно, однако, когда размеры облучаемой поверхности сопоставимы с высотой положения источника, возникает ярко выраженная неравномерность распределения энергии. Формирование необходимого распределения облученности в этом случае требует специальных конструкторских решений.

В настоящее время проектирование систем направленного облучения ведется на основе методов, в которых решается плоская задача формирования поперечного сечения поверхности рефлектора, позволяющего получить близкое к заданному распределение облученности, для определенных характеристик источника излучения и облучаемой поверхности. Однако назначение условий эксплуатации вызывает необходимость решения технических задач, связанных не только с расчетом геометрических параметров рефлектора, но и с определением рационального размера облучаемой поверхности, а также положения элементов оптической системы в пространстве. С одной стороны, для заданных условий эксплуатации необходимо выбрать наиболее эффективную конструкцию: определить рациональное соотношение высоты положения источника излучения и размеров облучаемой поверхности, выбрать форму отражателя. С другой – необходимо подобрать наиболее эффективные геометрические параметры рефлектора, такие как размеры и положение отражающих элементов, которые позволят получить распределение облучения максимально близкое к заданному. Таким образом, при проектировании и выборе эффективных геометрических параметров отражающих поверхностей необходим системный подход, позволяющий оценить различные варианты в соответствии с заданными условиями. Поэтому актуальным является создание моделей, позволяющих модифицировать приборы для переменных условий эксплуатации.

**Объект исследования.** Геометрические модели отражающих поверхностей.

**Предмет исследования.** Геометрические модели и алгоритмы проектирования отражающих поверхностей технологического назначения.

**Цель исследования.** Совершенствование и разработка новых моделей и алгоритмов проектирования отражающих поверхностей технологического назначения.

### **Задачи исследования:**

- разработать геометрические модели рефлекторов технологического назначения, позволяющие повысить концентрацию излучения источника на облучаемом участке, обеспечивающие равномерную облученность, исключающие отражение излучения на поверхность источника, имеющие возможность модификации или трансформации;
- разработать алгоритмы проектирования рефлекторов предложенных моделей;
- разработать алгоритмы определения эффективных геометрических параметров рефлекторов предложенных моделей, которые, при заданных ограничениях, позволят максимально концентрировать излучение на облучаемом участке и сократить скачки облученности;
- разработать программу для автоматизированного проектирования эффективных отражающих поверхностей технологического назначения;
- исследовать эффективность разработанных моделей методом численного эксперимента.

**Методы исследования.** Теоретические исследования проведены на основе методов геометрической оптики и инженерной геометрии, аналитической и дифференциальной геометрии. В процессе исследования использованы методы математического моделирования, численного эксперимента и компьютерной графики в среде математического процессора Mathcad. Поиск эффективных геометрических параметров основан на методе покоординатного спуска.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

1. Разработаны геометрические модели рефлекторов технологического назначения, позволяющие выровнять распределение энергии, повысить интенсивность облучения, увеличить срок службы оборудования, а также трансформировать конструкцию. Предложенные модели отличаются тем, что позволяют повысить интенсивность и сократить скачки облученности за счет специального расположения элементов и формы поперечного сечения, а также увеличить рабочее время лампы за счет перенаправления энергии в обход колбы.

2. Разработаны геометрические модели составной конструкции, использование которых предоставляет возможность упростить производство рефлекторов и создать систему регулировок для переменных условий эксплуатации.

3. Разработаны алгоритмы поиска эффективных геометрических параметров профилей отражателей предложенных моделей, которые позволяют определить значения размеров и положение элементов оптической системы,

обеспечивающие максимальную концентрацию и равномерность облучения в соответствии с заданными параметрами.

### **Практическая значимость и внедрение.**

Результаты исследований диссертационной работы были использованы на предприятии ООО «Полиграф» при расчете геометрических параметров рефлектора для экспонирующего узла GEW NUVA печатной машины Gallus EM-410; в учебной деятельности ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» в качестве методических и демонстрационных материалов.

На основе предложенных алгоритмов была разработана и зарегистрирована в официальном реестре программ для ЭВМ ФИПС программа для автоматизированного проектирования эффективных отражающих поверхностей специального назначения (№2016661910 от 25.10.2016).

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследований докладывались на XI межвузовской научно-практической конференции студентов и аспирантов «Молодежь, наука, творчество» (г. Омск, 2013 г.); V международном фестивале искусства и дизайна «Формула моды: Восток-Запад», (г. Омск, 2013 г.); III научно-технической конференции аспирантов, магистрантов, студентов, творческой молодежи профильных предприятий и организаций, учащихся старших классов «Техника и технология современного нефтехимического и нефтегазового производства», (г. Омск, 2013 г.); IV научно-технической конференции аспирантов, магистрантов, студентов, творческой молодежи профильных предприятий и организаций, учащихся старших классов «Техника и технология современного нефтехимического и нефтегазового производства», (г. Омск, 2013 г.); XII межвузовской научно-практической конференции студентов и аспирантов «Молодежь, наука, творчество» (г. Омск, 2014 г.); V заочной научно-практической конференции с международным участием «Полиграфия: технология, оборудование, материалы» (Омск, 2014 г.); V региональной молодежной научно-практической конференции «Омский регион – месторождение возможностей» (Омск, 2014 г.); X международной IEEE научно-технической конференции «Динамика систем, механизмов и машин» (Омск, 2016 г.). Работа была поддержана Грантом «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» «УМНИК 2014».

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Геометрические модели рефлекторов технологического назначения для равномерного облучения и фокусировки энергии.
2. Алгоритмы проектирования рефлекторов предложенных моделей.
3. Алгоритмы поиска эффективных геометрических параметров профилей рефлекторов предложенных моделей.

4. Программа для автоматизированного проектирования эффективных отражающих поверхностей технологического назначения.

**Публикации по теме диссертации.** Основное содержание диссертации опубликовано в 13 печатных работах, из них 4 – в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из оглавления, введения, 3 глав, основных результатов и выводов, заключения и библиографического списка литературы. Общий объем составляет 114 страниц, 58 рисунков. Библиографический список включает 110 наименований, в том числе 6 иностранных.

### **Основное содержание работы**

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, поставлена цель, определены задачи исследования. Сформулированы научная новизна и практическая значимость, а также положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** проведен анализ особенностей проектирования и эксплуатации светонаправляющих конструкций систем направленного облучения. Проектирование отражающих поверхностей подобного рода заключается в решении плоской задачи, которая сводится к формированию нормального или меридионального сечения цилиндрических поверхностей или поверхностей вращения, а моделирование линий сечения – к построению линий, сопрягающих точки заданного дискретного массива с выполнением определенных краевых условий. Выделены проблемы эксплуатации рефлекторов: неэффективное распределение, низкая концентрация энергии источника на облучаемой области и сброс энергии на источник излучения за счет нерациональной формы и положения элементов оптической системы; жесткие требования к точности изготовления; отсутствие возможности модификации или трансформации.

Рассмотрены методы геометрического моделирования кривых и поверхностей по заданным параметрам. Основные методы решения задач геометрического моделирования сложных поверхностей как результата их профилирования по определенным законам были предложены такими учеными как А. Т. Дворецкий, В. Е. Михайленко, А. Л. Подгорный, В. С. Обухова и другие.

Исследованы основные модели, методы и алгоритмы проектирования отражающих поверхностей в светотехнике. Значительный вклад в решение проблемы проектирования световых приборов был сделан такими учеными как В. В. Трембач, М. М. Русинов, О. К. Куш, В. П. Будаков, А. А. Коробко и другими.

На основе анализа особенностей проектирования рефлекторов технологического назначения и существующих методов решения задач проектирования был сделан вывод о целесообразности применения численно-лучевого подхода к расчету распределения излучения источника. Данный метод позволяет достаточно быстро и точно оценить распределение энергии в оптической системе с симметричной формой отражателя (линейчатой цилиндрической или поверхности вращения).

Сделан вывод о целях и возможных путях решения поставленных проблем.

**Вторая глава** посвящена вопросам разработки моделей, алгоритмов проектирования и поиска эффективных значений геометрических параметров рефлекторов технологического назначения. Критерии эффективности – равномерность облучения и концентрация энергии на облучаемом участке. Рассмотрена общая постановка задачи формообразования отражающих поверхностей для систем направленного облучения, согласно требованиям распределения энергии. Задача заключается в том, чтобы для облучаемой поверхности с заданными параметрами найти такое положение источника излучения, такое положение и форму отражателя, чтобы компенсировать неравномерное распределение прямого излучения источника и создавать уровень суммарной облученности близкий к заранее заданному.

Решение поставленной задачи рассмотрено при следующих ограничениях:

1) источник излучения является точечным и обладает свойствами излучателя Ламберта; 2) если приемник и заданное распределение облученности обладают симметрией, то будем считать, что они имеют общую ось или плоскость симметрии; 3) если приемник или заданное распределение облученности не обладают симметрией, то поставленная задача дополняется задачей по определению такого расположения источника относительно приемника, при котором распределение прямого излучения имеет минимальное отклонение от заранее заданного. Эта задача решается предварительно.

Проведен анализ возможных вариантов распределения отраженной энергии на облучаемой поверхности. Показано, что уровень облученности отраженным излучением, представленный в виде сечения поверхности, может описываться непрерывной и дифференцируемой линией или линией с многочисленными разрывами (рис. 1). Разрывы возникают в результате отражения от участков рефлектора, на которых наиболее сильно изменяется угол наклона касательной к линии профиля отражающей поверхности.

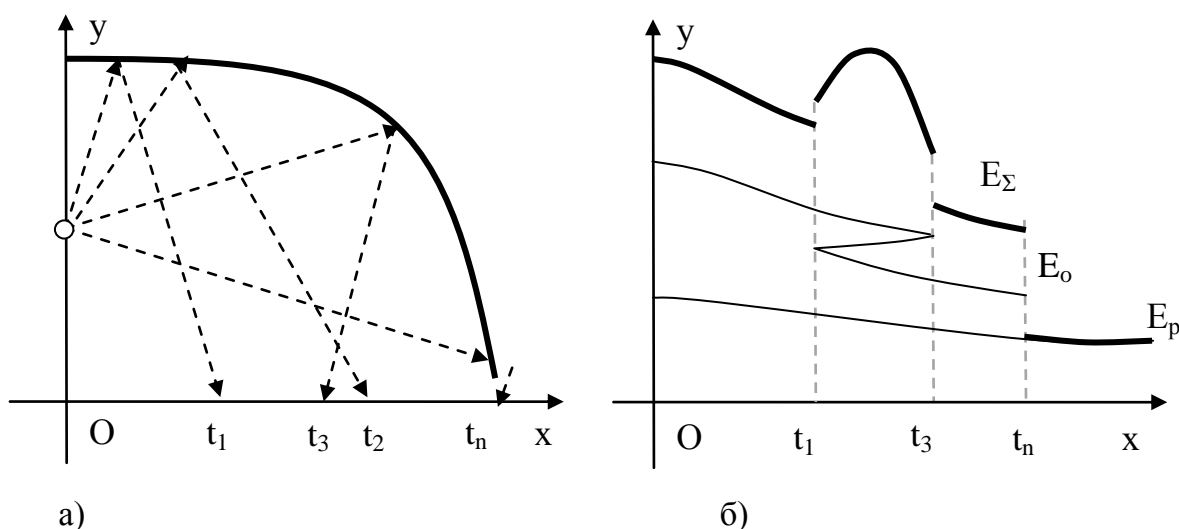


Рис. 1. а) расчетная схема трассировки лучей; б) функция суммарной облученности с многочисленными точками разрыва (правая часть)

Автором разработаны следующие геометрические модели, алгоритмы проектирования и поиска эффективных геометрических параметров рефлекторов технологического назначения:

**1. Рефлектор для равномерного облучения с поперечным сечением в виде кусочно-линейной функции.** Проектирование рефлектора технологического назначения в данном случае заключается не только в определении геометрических параметров сегментов линии сечения, дополнительно возникает задача поиска рационального количества элементов, при котором значения величины разрывов функции суммарной облученности становятся минимальны. Рассмотрено решение сформулированной задачи для  $n$ -элементного отражателя или  $2n$ -элементного, если учитывать симметрию. Расчетная схема для случая  $n = 4$  и ход крайних лучей показан на рис. 2.

Рассматривается поперечное сечение поверхности рефлектора. Варьируемыми параметрами являются:  $h$  – высота источника излучения над облучаемым отрезком;  $a$  – полуширина облучаемого отрезка;  $a_i, b_i$  – координаты точки левого края  $i$ -го отражающего элемента  $L_i, i = 1, \dots, n$ ;  $c_i, d_i$  – координаты точки правого края  $i$ -го отражающего элемента  $L_i$ ;  $n$  – число отражающих элементов,  $n > 2$ .



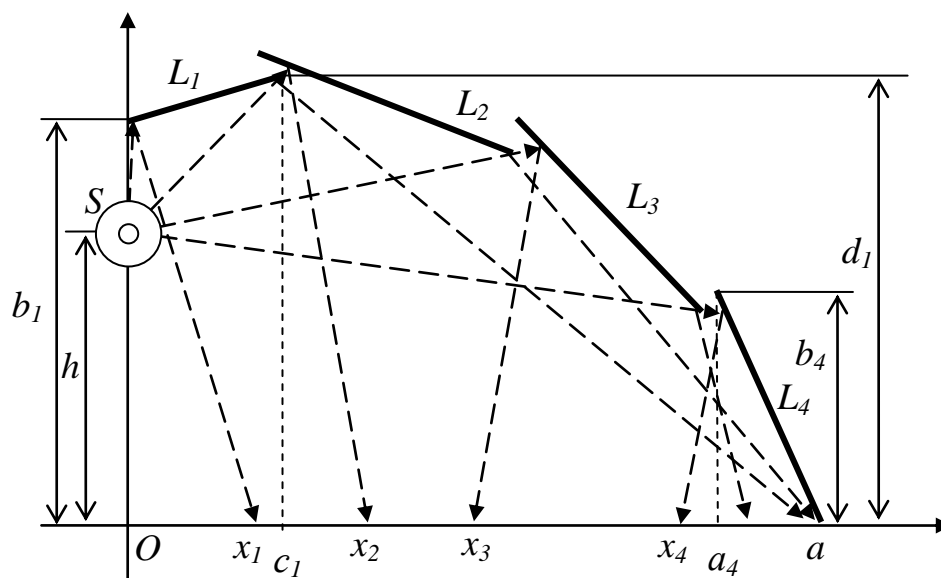


Рис. 2. Расчетная схема для четырехэлементного отражателя с односторонним расположением отражающих элементов

Размерность пространства варьируемых параметров равна  $4n - 3$ , так как можно считать, что  $a_1 = 0$ ,  $c_n = a$ ,  $d_n = 0$ . Однако размерность можно понизить, если учесть следующие ограничения:  $b_i > d_i - 1$ ,  $d_i < b_i$  и  $a_i = c_i - 1$ .

В результате проведенных численных экспериментов была доказана сходимость предлагаемого алгоритма, реализованного для случаев  $n = 2$  и  $n = 3$ . Расчет проводился для  $h = 150$  мм,  $a = 200$  мм,  $b_1 = 200$  мм, положительный угол наклона первого элемента составил  $28^\circ$ , отрицательный угол наклона второго элемента составил  $72^\circ$ . В случае  $n = 3$  уменьшение значения разницы между максимальным и минимальным значением функции облученности  $\Delta E$  составило примерно 70% по сравнению с  $n = 2$ . В случае  $n = 5$  уменьшение значения  $\Delta E$  составило примерно 95% по сравнению с  $n = 2$ . Дальнейшее увеличение числа отражающих элементов не вызывало существенного выравнивания функции суммарного облучения, а сложность конструкции отражателя увеличилась.

**2. Рефлектор для равномерного облучения профильная линия которого включает два параболических сегмента.** Исследованы отражательные свойства кривых, описываемых уравнениями вида  $y = ax^2 + b$ ,  $a < 0$ . Варьируемые параметры высота рефлектора  $b$  и положения источника излучения  $h$  (рис. 3).

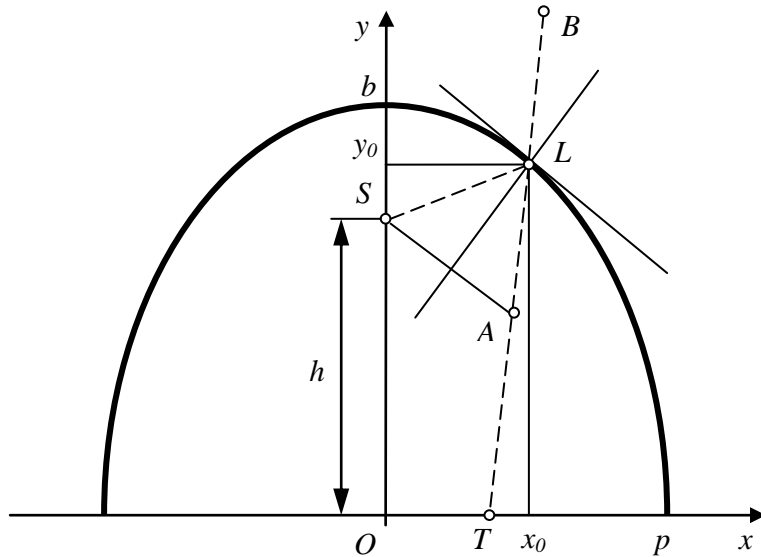


Рис. 3. Расчетная схема криволинейного отражателя

Исследования привели к следующим результатам:

1. Рациональным значением высоты положения источника излучения  $h$ , при котором облученность периферийных областей максимальна, является  $2^{-1/2} p \approx 0,709p$  (полуширины облучаемой поверхности).

2. При изменении ординаты  $b$  вершины параболы можно получить монотонно возрастающую последовательность значений  $t$ :  $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_{n-1} < t_n = p$ , которая соответствует монотонно возрастающей последовательности значений  $x$ :  $0 = x_0 < x_1 < \dots < x_{n-1} < x_n = p$ . Это соответствует непрерывности функции суммарной облученности на отрезке от  $x = 0$  до  $x = p$ .

В общем случае задаются следующие исходные параметры проектирования рефлектора:  $P(p, 0)$ ,  $D(0, d)$ ,  $M(m, c)$  – точки кривой линии профиля рефлектора;  $\alpha$  – угол наклона касательной к кривой линии профиля рефлектора в точке  $P$ ;  $\beta$  – угол наклона касательной к кривой линии профиля рефлектора в точке  $D$ .

Уравнение кривой линии профиля рефлектора имеет вид:

$$y = a_5 x^5 + a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0,$$

при условии  $y'' < 0$ ,  $x \in [0, p]$ . Области допустимых значений очередных выбираемых параметров зависят от значений уже выбранных. Например, если первоначально выбраны параметры  $p$  и  $h$ , то  $0 < m < p$ ,  $0 < \alpha < \arctg(p - m) / c$ ,  $h < d < 1,5h$ ,  $\arctg(c - d) / m < \beta < \pi / 4$ ,  $d < c < 1,5h$ . Значения  $t$  должны находиться на отрезке  $[0, p]$ . Коэффициенты  $a_i$  определяются из системы уравнений:

$$\begin{aligned} a_5 p^5 + a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + p \cdot \operatorname{tg} \beta + d &= 0, \\ a_5 m^5 + a_4 m^4 + a_3 m^3 + a_2 m^2 + m \cdot \operatorname{tg} \beta + d &= c, \end{aligned}$$

$$5a_5 m^4 + 4a_4 m^3 + 3a_3 m^2 + 2a_2 m + \operatorname{tg} \beta = 0,$$

$$5a_5 p^4 + 4a_4 p^3 + 3a_3 p^2 + 2a_2 p + \operatorname{tg} \beta = -\operatorname{tg} (\pi/2 - \alpha)$$

при  $a_0 = d$ ,  $a_1 = \operatorname{tg} \beta$ .

В конструкции, показанной на рисунке 4, уравнение линии поперечного сечения рефлектора имеет вид:

$$y = -a(x - m)^4 - b(x - m)^2 + c.$$

Если варьируемыми параметрами являются  $m$ ,  $c$ ,  $h$ ,  $a$ , то

$$b = (c - a(p - m)^4) / (p - m)^2, \quad d = -am^4 - bm^2 + c.$$

Если варьируемыми параметрами являются  $m$ ,  $d$ ,  $h$ ,  $a$ , то

$$b = (a(p - m)^4 - d - am^4) / p(2m - p), \quad c = d + am^4 + bm^2.$$

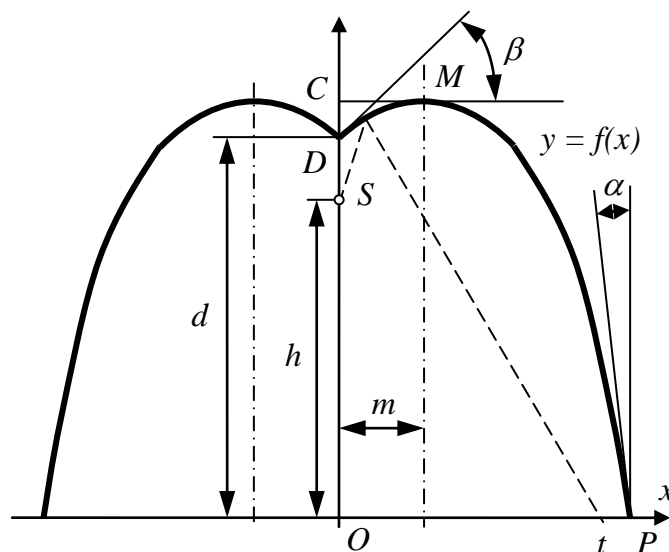


Рис. 4. Расчетная схема для рефлектора из двух смещённых парабол.

**3. Эллиптический рефлектор для равномерного облучения профильная линия, которого включает дополнительные линейные элементы.** Источник излучения размещен в фокальной точке эллипса, облучаемая поверхность – на уровне малой оси, а дополнительные линейные элементы расположены в центральной части рефлектора таким образом, что лучи, направленные вверх, отражаются по касательной к лампе. Использование предложенной модели позволяет повысить интенсивность облучения за счет сокращения расстояния между элементами оптической системы, избежать сброса и перенаправить энергию на периферийные области (рис. 5).

**4. Составной эллиптический рефлектор с дополнительными отражающими поверхностями для фокусировки энергии.** Линия поперечного сечения рефлектора включает основную эллиптическую часть и два дополнительных сегмента в виде кривых второго порядка. Предложенная модель позволяет учитывать направление излучения каждой точки поверхности

источника в случае, когда размеры светящего тела сопоставимы с размерами облучаемой области. Использование дополнительных элементов дает возможность повысить интенсивность облучения на 50%. Расчетная схема приведена на рисунке 6.

Сущность алгоритма расчета заключается в следующем. Рассматривается поперечное сечение поверхности рефлектора. По уравнению кривой линии сечения эллиптического рефлектора  $L_1$  с фокусом  $OS$ , определяется ширина облучаемого отрезка и, с учетом технологического зазора  $P$ , получаются координаты точки  $A$  ( $x_a, y_a$ ).

$$x_a = \pm \frac{\sqrt{4q[q(h+q)^2 + h(h+q) \cdot p - (h+q)p^2]}}{h+2q},$$

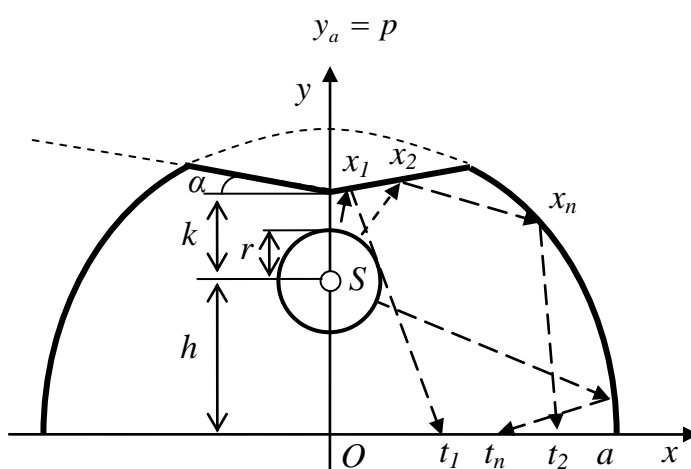


Рис. 5. Расчетная схема для эллиптического рефлектора с дополнительными поверхностями

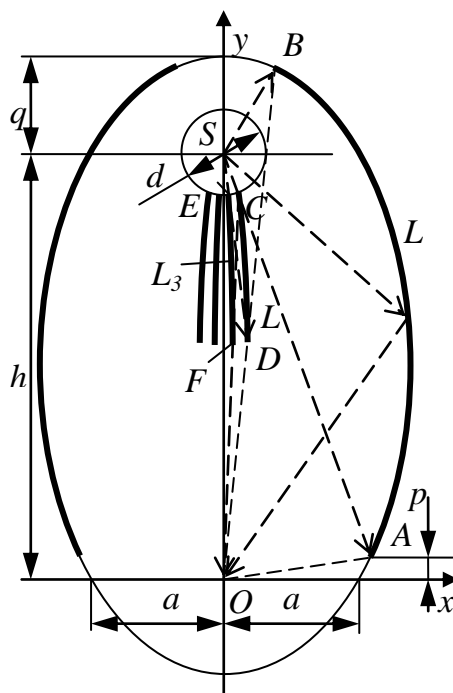


Рис. 6. Расчетная схема составного эллиптического рефлектора

Решением совместно уравнения эллипса  $L_1$  с уравнением прямой, соответствующей лучу, отраженному от верхней части рефлектора в точку  $O$ , получаются координаты точки  $B(x_b, y_b)$  – верхней кромки рефлектора. Луч  $OB$  должен проходить в обход лампы:

$$x_b = 2q(h+q) \frac{h \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{d}{2h} \right) + \sqrt{h^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{d}{2h} \right) - (h+2q)^2 + 4q(h+q)^2 + 4q(h+q) \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{d}{2h} \right)}}{(h+2q)^2 + 4q(h+q) \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{d}{2h} \right)}$$

$$y_b = x_b \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{d}{2h} \right)$$

Точка  $C$  вспомогательной отражающей поверхности  $L_2$  находится на пересечении прямой  $SA$  и окружности лампы с центром в точке  $S$ . Вторая точка  $D(x_D, y_D)$  вспомогательной отражающей поверхности  $L_2$  находится на пересечении прямой  $OB$  и эллипса с фокусами в  $S$  и  $O$ , содержащего точку  $C$ . Координаты  $(x_E, y_E)$  точки  $E$  третьей вспомогательной поверхности  $L_3$  находятся на пересечении прямой  $SD$  и окружности лампы с центром в точке  $S$ . Вторая точка  $F(x_F, y_F)$  вспомогательной отражающей поверхности  $L_3$  находится на пересечении прямой  $OB$  и эллипса с фокусами в  $S$  и  $O$ , содержащего точку  $E$ . И так далее. В случае параболических дополнительных рефлекторов точки  $A, B$  и  $C$  остаются теми же, но вместо уравнения эллипса используется уравнение параболы.

**5. Составной параболический рефлектор с дополнительными отражающими плоскостями для фокусировки энергии.** Расчетная схема приведена на рисунке 7. Использование предложенной модели позволяет избежать зависимости параметров высоты положения источника излучения и ширины облучаемой поверхности. Проектирование рефлектора заключается в таком подборе геометрических параметров, которые должны обеспечить указанный ход лучей: прямой поток  $S_1: S \rightarrow T$ ; поток  $S_2: S \rightarrow L_1 \rightarrow T$ ; поток  $S_3: S \rightarrow L_3 \rightarrow T$ ; поток  $S_4: S \rightarrow L_4 \rightarrow T$ ; поток  $S_5: S \rightarrow L_1 \rightarrow L_2 \rightarrow T$ . Отражение от рефлектора  $L_4$  возможно многократное.

**6. Алгоритмы проектирования рефлекторов технологического назначения по заданному распределению энергии.** Для решения задачи восстановления формы кривой профиля отражающей поверхности по заданному уровню распределения энергии, автором предложен метод трассировки лучей с использованием мнимых источников излучения, основанный на лучевом методе светотехнического расчета.

Пусть на отрезке  $[0, a]$  стационарный источник  $S_0$  создает облученность  $E_0$  (рис. 8). По величине необходимой дополнительной облученности  $(E-E_0)$  для

точки облучаемого отрезка  $t$  найдем геометрическое место положения множества мнимых источников, способных дополнить прямую облученность до заранее заданной.

При изменении  $t$  кривые положений мнимых источников образуют семейство, зависящее от параметра  $t$ . Уравнение кривой  $S$  – геометрического места мнимых источников  $S(x,y)$  для заданного параметра  $t$ :

$$y = \sqrt{\frac{I \cdot \cos\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{t-x}{h}\right)\right) - t^2 \cdot (E - E_0) + 2 \cdot t \cdot x \cdot (E - E_0)}{E - E_0}}$$

Дифференцируя это уравнение по параметру  $t$ , получим огибающую этого семейства. В результате получено множество точек  $(x_0, y_0), \dots, (x_n, y_n)$  огибающей, то есть множество мнимых источников  $S_0, \dots, S_n$ , каждый из которых создает облученность в определенной точке  $t_0, \dots, t_n$  отрезка  $[0, a]$ . Вторым этапом заключается в получении множества точек  $L_0, \dots, L_n$  криволинейного отражателя. В результате получено множество точек  $\{L_i\}, i = 0, \dots, n$ , отражателя, при этом в каждой точке  $L_i$  определена касательная  $l_i$ . Задачей следующего этапа является представление множества  $\{(L_i, l_i)\}$  в виде непрерывной гладкой кривой. Возможны варианты представления в виде: многочлена, сплайна или сплайна, различные участки которого являются многочленами разных степеней.

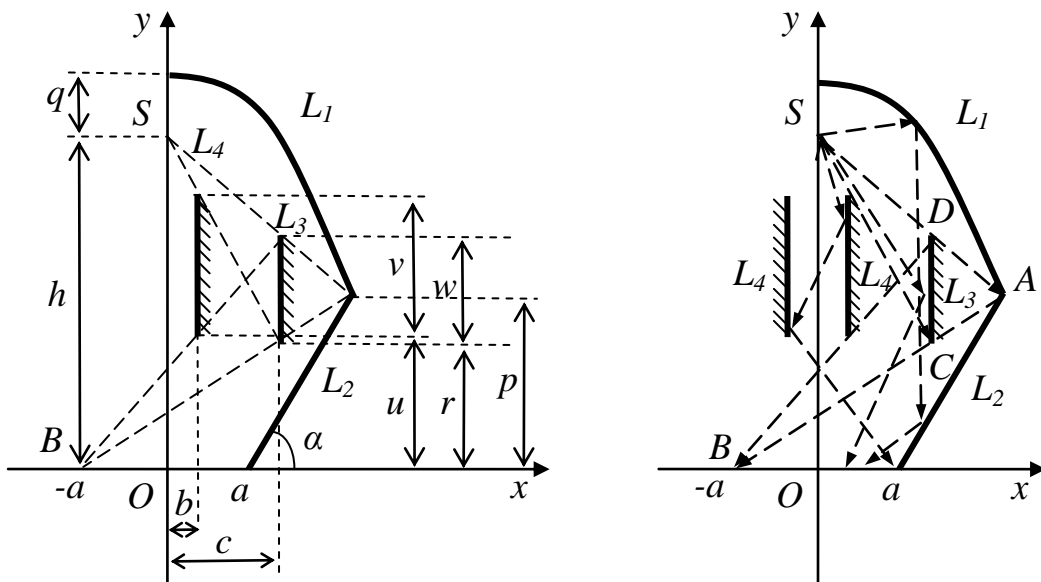


Рис. 7. Расчетная схема для фокусирующего рефлектора (правая часть), ход отраженных лучей

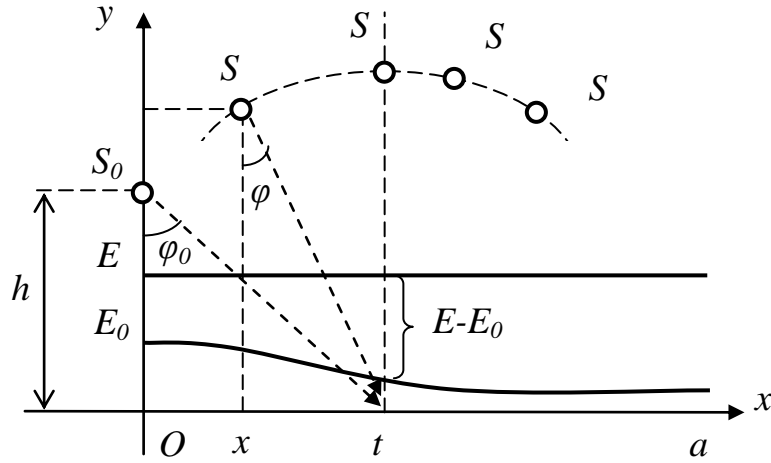


Рис. 8. Расчетная схема для криволинейной модели рефлектора (правая часть)

Если задан пучок отраженных лучей, то задаются: источник  $S$  энергетического потока; высота расположения его над облучаемым отрезком  $h$ ; функция суммарной облученности  $E_S$ ; коэффициент усиления облученности  $k$ ,  $1 < k < 2$ ; заданный пучок отраженных рефлектором лучей (рис. 9, а).

Координаты точек линии профиля отражателя  $L$  устанавливаются из уравнения срединного перпендикуляра и уравнения пучка прямых.

$$x_\theta(t) = h^2 \cdot v \cdot \sqrt{\frac{1}{h^6 + h^6 \cdot k^2 \cdot t^6 + 3 \cdot h^2 \cdot k^2 \cdot t^4 + 3 \cdot h^4 \cdot k^2 \cdot t^2 - 2 \cdot h^3 \cdot k \cdot (h^2 + t^2)^{3/2}}} \cdot (h^2 + t^2),$$

$$y_\theta(t) = \sqrt{\frac{v^2}{\left[ \frac{h}{(h^2 + t^2)^{3/2}} - \frac{k}{h^2} \right]^2 \cdot (t^2 + h^2)}} - x_\theta^2(t).$$

$$x_L = \frac{t \cdot h^3 \cdot y_\theta - t \cdot h \cdot y_\theta^3 - t \cdot h \cdot x_\theta^2 \cdot y_\theta - 2 \cdot v \cdot t \cdot h \cdot y_\theta^2}{2 \cdot v \cdot h^2 \cdot y_\theta - 2 \cdot t \cdot h \cdot x_\theta - 2 \cdot v \cdot h \cdot y_\theta^2 + 2 \cdot t \cdot x_\theta \cdot y_\theta},$$

$$y_L = \frac{v \cdot t \cdot h^3 \cdot y_\theta - v \cdot t \cdot h \cdot y_\theta^3 - v \cdot t \cdot h \cdot x_\theta^2 \cdot y_\theta + 2 \cdot v^2 \cdot t \cdot h \cdot y_\theta^2}{2 \cdot v \cdot t \cdot h^2 \cdot y_\theta - 2 \cdot t^2 \cdot h \cdot x_\theta - 2 \cdot v \cdot t \cdot h \cdot y_\theta^2 + 2 \cdot t^2 \cdot x_\theta \cdot y_\theta} - v.$$

Пусть в нормальном (меридиональном) сечении каустика задана квадратичным пучком семейства прямых, носитель пучка – парабола. Вводится параметр  $t$ , указывающий на точку пересечения отраженного луча с осью абсцисс (рис. 9, б). Решая через уравнение касательной, определим:

$$t = -\frac{b}{a^2} \cdot y_0^2 + b, \quad x_0 = 2b \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{t}{b}} \right) - t, \quad y_0 = -a \sqrt{1 - \frac{t}{b}}, \quad 0 \leq t \leq b,$$

где  $a$ ,  $b$  – коэффициенты уравнения параболы ( $x = \frac{b}{a^2} \cdot y^2 + \frac{2b}{a} \cdot y + b$ ).

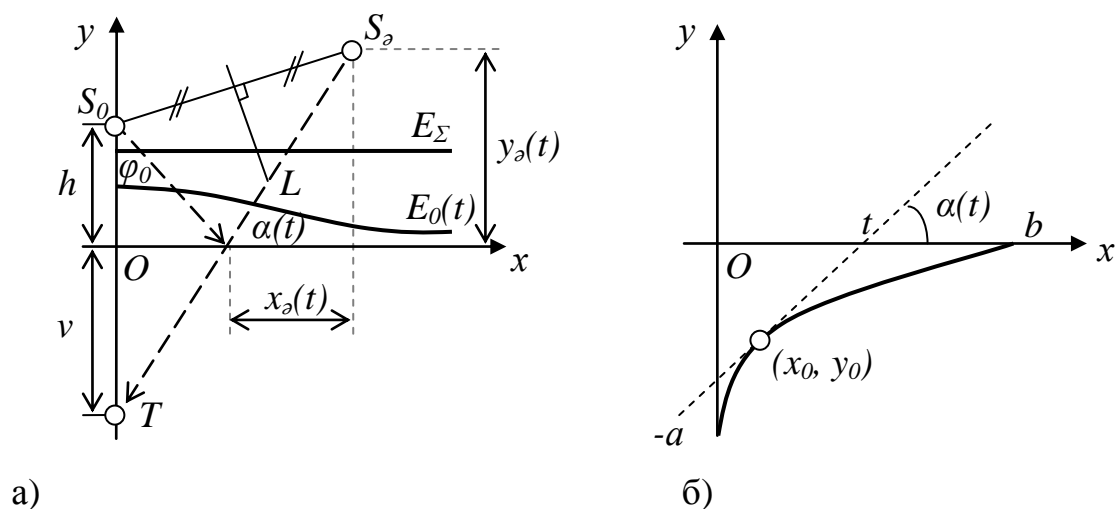


Рис. 9. Расчетные схемы конструирования рефлектора для а) линейного; б) квадратичного пучка отраженных лучей (правая часть)

Тогда

$$E_{oon}(t) = \left( I \cdot \frac{-at}{2b \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{t}{b}} \right)} \right) / \sqrt{\left( \frac{a^2 t^2}{hb^2 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{t}{b}} \right)^2} + t^2 \right) (x_o^2(t) + y_o^2(t))}.$$

Координаты положения мнимых источников и точек линии профиля отражателя определяются аналогично предыдущему случаю.

**В главе 3** предложенные алгоритмы поиска эффективных геометрических параметров рефлекторов технологического назначения реализованы в виде программы для автоматизированного проектирования.

Практическое применение предложенных расчетных схем осуществлено на примере блока УФ-отверждения NUVA-W200 для печатной машины Gallus EM-410. Произведено исследование и поиск эффективных геометрических параметров рефлектора. Исследовано распределение облучения, индуцированного штатным рефлектором. Представлен ряд альтернативных вариантов конструкции профиля отражающей поверхности, проведен сравнительный анализ распределения отраженного излучения предложенными моделями по сравнению со штатной. Также предложена модель рефлектора с поперечным сечением в виде кусочно-линейной функции, предоставляющий возможность упрощения технологии производства. Результатом внедрения стала корректировка формы рефлектора и распределения отраженной энергии.



## Основные результаты и выводы

В процессе исследования получены следующие результаты:

1. Разработаны геометрические модели рефлекторов технологического назначения для равномерного облучения и фокусировки энергии. Использование предложенных моделей позволяет снизить энергоемкость и увеличить срок службы элементов облучающих модулей путем рационального перенаправления энергии источника излучения. Составные конструкции и линейные элементы доступны для производства без сложной техники, могут быть трансформированы для переменных условий эксплуатации и использоваться для модификации используемых рефлекторов.

2. Разработаны алгоритмы проектирования рефлекторов предложенных моделей и восстановления формы поперечного сечения по заданному закону распределения облученности. Расчет геометрических параметров линии поперечного сечения рефлектора и кривых распределения энергии за один цикл позволяет существенно ускорить процесс проектирования рефлектора для заданных условий эксплуатации.

3. Разработаны алгоритмы, позволяющие определить эффективные геометрические параметры профилей отражателей предложенных моделей. В результате выявлены рекомендуемые геометрические параметры систем направленного облучения, включая положение источника излучения, размеры облучаемой поверхности, количество, размеры и положение сегментов линии поперечного сечения поверхности отражателя. Критериями эффективности приняты равномерность и концентрация облученности.

4. Реализация предложенных алгоритмов была выполнена в виде программы для автоматизированного проектирования эффективных отражающих поверхностей технологического назначения. Программа позволяет определить геометрические параметры сечения рефлектора выбранной модели по заданным данным; произвести расчет распределения энергии отраженной рефлектором и энергии, попадающей на облучаемую поверхность напрямую от источника; произвести поиск эффективных геометрических параметров оптической системы для концентрации и равномерного облучения в соответствии с заданными данными.

5. Проведен анализ эффективности разработанных моделей методом численного эксперимента на основе сопоставления данных, полученных с применением предложенных алгоритмов с данными штатного рефлектора блока УФ-отверждения NUVA-W200 для печатной машины Gallus EM-410. По итогам исследования предложенные модели позволяют: получить более равномерное

распределение облученности, концентрировать большее количество энергии источника; избежать падения отраженной энергии на поверхность лампы.

### **Публикации по теме диссертационной работы**

*Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК:*

1. Ревзина, Н. В. Конструирование фокусирующих рефлекторов / Н. В. Ревзина, С. Н. Литунов, В. Ю. Юрков // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. – М., 2014. – № 5. – С. 8-13.

2. Ревзина, Н. В. Конструирование криволинейного отражателя / Н. В. Ревзина, С. Н. Литунов, В. Ю. Юрков // Омский научный вестник. Серия «Приборы, машины и технологии». – Омск, 2015. – №1 (137). – С. 5-8.

3. Ревзина, Н. В. Конструирование кусочно-линейного отражателя / Н. В. Ревзина // Омский научный вестник. Серия «Приборы, машины и технологии». – Омск, 2015. – №1 (137). – С. 13-15.

4. Ревзина, Н. В. Геометрическое моделирование рефлектора по заданному пучку отраженных лучей / Н. В. Ревзина, С. Н. Литунов, В. Ю. Юрков // Вестник Омского университета им. Ф.М. Достоевского. – Омск, 2015. – № 2. – С. 11-14.

*Статьи, опубликованные в других изданиях:*

5. Ревзина, Н. В. Решение плоскостной задачи создания равномерного освещения на облучаемой поверхности / Н. В. Ревзина, В. Ю. Юрков // Техника и технология современного нефтехимического и нефтегазового производства. Матер. 3-й науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов, студентов, творч. молодежи профил. предприятий и орг., учащихся ст. кл. : в 2 кн. / ОмГТУ, Нефтехим. ин-т, Ин-т проблем переработки углеводородов СО РАН; редкол. : В. Л. Юша [и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – С. 279-284.

6. Ревзина, Н. В. Решение плоской задачи аппарата отражения для параболических рефлекторов / Н. В. Ревзина, С. Н. Литунов, В. Ю. Юрков // Полиграфия: технология, оборудование, материалы. Мат. V заочной науч.-прак. конф. с международным участием. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2014. – С. 55-59.

7. Ревзина, Н. В. Параметрическая оптимизация в проектировании поверхностей специального назначения / Н. В. Ревзина, В. Ю. Юрков // Инженерная геометрия и компьютерная графика. Труды международного науч.-методического семинара. – Алматы : Из-во Казахского нац. технического ун-та им. К.И. Сатпаева, 2014. – С. 154-161.

8. Ревзина, Н. В. Решение задачи создания равномерного освещения для экспертизы качества печатной продукции / Н. В. Ревзина // Молодежь, наука, творчество – 2013. XI межвузовская науч.-прак. конф. студентов и аспирантов :

сб. статей. В 2-х частях. Ч . 1 / под общ. ред. и. о. ректора Д. П. Маевского. – Омск : ОГИС, 2013. – С. 176-177.

9. Ревзина, Н. В. Редактированный перевод части математического трактата «связанные каустики» А. Кейли / Н. В. Ревзина // Молодежь, наука, творчество – 2013. XI межвузовская науч.-прак. конф. студентов и аспирантов : сб. статей. В 2-х частях. Ч . 1 / под общ. ред. и. о. ректора Д. П. Маевского. – Омск : ОГИС, 2013. – С. 194-196.

10. Ревзина, Н. В. Каустика как математический объект, используемый в технологии / Н. В. Ревзина // Молодежь, наука, творчество – 2014. XII межвузовская науч.-прак. конф. студентов и аспирантов : сб. статей. В 2-х частях. Ч . 2. – Омск : ОГИС, 2014. – С. 74-75.

11. Ревзина, Н. В. Разработка алгоритмов расчета оптимальной геометрии рефлекторов / Н. В. Ревзина // Омский регион – месторождение возможностей. Мат. V региональной молодежной науч.-прак. конф. – Омск, 2014.

12. Иванникова, Н. В. Оптимизация многозеркального отражателя для выравнивания интенсивности облучения / Н. В. Иванникова, С. Н. Литунов, В. Ю. Юрков // Динамика систем, механизмов и машин. – Омск : Изд-во ОмГТУ, №1, том 4, 2016. – С. 143-147.

*Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ:*

13. Иванникова, Н. В. Программа проектирования и оптимизации геометрических параметров профилей отражающих поверхностей / В. Ю. Юрков, Н. В. Иванникова // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016661910 от 25.10.2016.