

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С РАССЕИВАЮЩИМИ МИКРОСТРУКТУРАМИ НА КРИВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

А.А. Гарбуль², Д.Д. Жданов^{3,2,1}, И.С. Потемин^{1,3}, В.Г. Соколов¹,
ИПМ им. М.В. Келдыша¹, ГОИ им. С.И. Вавилова², НИУ ИТМО³,

В работе предлагается решение для моделирования и оптимизации сложных осветительных систем в которых элементы рассеивающей микрогеометрии размещены на искривленных поверхностях. Рассматриваются различные виды проекции элементов микрогеометрии на кривую поверхность. Работа иллюстрируется примером расчета осветительных систем с микроструктурой на кривой поверхности.

6. Введение

В настоящее время широкое распространение получили светодиодные осветительные системы с так называемой торцевой подсветкой. Особенность таких систем состоит в том, что свет, излучаемый с относительно малой площади источника, перераспределяется на существенно большую площадь с помощью рассеивающей микрогеометрии, нанесенной на поверхности осветительного устройства. Высокая и равномерная яркость обеспечивается оптимальным набором параметров рассеивающей микроструктуры: подбором формы микроэлементов, их расположением, размером и свойствами. Такие системы используются для подсветки жидкокристаллических дисплеев и различных приборных панелей, имеющих плоскую поверхность излучения.

Авторами разработана методика, позволяющая осуществлять компьютерное моделирование и оптимизацию распределения элементов светорассеивающей микрогеометрии на криволинейных поверхностях светопроводящей оптики.

7. Метод оптимизации распределения яркости осветительной системы

Оптимизация состоит из двух фаз: предварительный расчет и собственно оптимизация. В отличие от традиционных систем оптимизации, вводятся три допущения: во-первых, мы предполагаем, что оптимизируемая зона разбивается на конечное число подзон с постоянными значениями параметров оптимизации микроструктуры (частое разбиение дает лучший результат, но и требует продолжительного времени расчета); во-вторых, мы рассматриваем только зоны, находящиеся непосредственно над сопряженной областью оптимизируемой микроструктуры; в-третьих, в описываемом процессе оптимизации есть специальная предварительная фаза. Во время предварительной фазы анализируется ограниченное число зон, необходимое для определения функции влияния. После этого анализа начинается основной этап оптимизационного расчета. Хотя анализ функций влияния не является трудоемкой операцией (по времени и по машинным ресурсам), однако проведение данного анализа на предварительной фазе более эффективно, чем выполнение этой же операции во время основного процесса оптимизации. Анализ функций влияния заключается в расчете реакции выбранных областей осветительной системы на изменение параметров микроструктуры. Значения функции влияния для всей области оптимизации осветительной системы определяются в результате интерполяции.

Основная фаза оптимизации состоит из трех циклических действий:

- Рассчитывается выходная яркость и параметры освещения каждой оптимизируемой зоны осветительного устройства для текущих параметров микроструктуры (на первом цикле для расчета берется исходная микроструктура).
- Оценивается среднеквадратичное отклонение распределения яркости от требуемого и, если величина отклонения приемлема, то процесс останавливается. В противном случае рассчитываются новые значения параметров микроструктуры. При вычислении

параметров микроструктуры используется функция влияния, рассчитанная на предварительной фазе, и уточненная в процессе текущего вычисления.

- Изменяются значения параметров микроструктуры и осуществляется переход к первому действию (расчет яркости и параметров освещения).

Вследствие нелинейности оптимизационного процесса (изменение параметров микроструктуры в одной области оказывает влияние на распределение яркости всей осветительной системы) для достижения требуемого результата необходимо несколько вычислительных итераций. Текущий алгоритм может использовать только один параметр микроструктуры для выполнения оптимизационного процесса (размер, плотность, ориентация). Однако в большинстве практических случаев [1] одного параметра достаточно для эффективного и качественного проектирования.

8. Методы проецирования микроэлементов на криволинейную поверхность

Отличительной особенностью моделирования и оптимизации распределения элементов светорассеивающей микрогеометрии на криволинейных поверхностях светопроводящих устройств является процедура проецирования геометрии рассеивающих элементов с плоской поверхности на заданную. Рис. 1 демонстрирует идею проецирования микроэлементов. На исходном шаге микроэлементы распределяются на плоской поверхности. Это может быть распределение любой сложности, от регулярного до произвольного, с равномерной или неравномерной плотностью, определяемой в результате автоматической или ручной оптимизации. Размер и форма элементов может также быть различной.

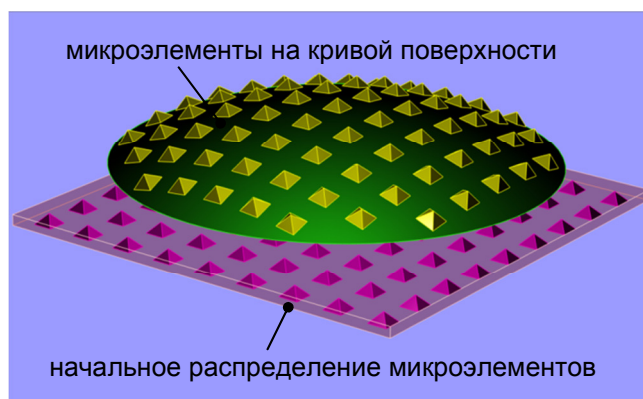


Рис.1. Проецирование микроэлементов на поверхность оптического устройства

Затем распределение микроэлементов на плоскости автоматически проецируется на реальную поверхность оптического устройства. Методы проецирования могут быть различными и определяются как особенностями системы, в которой они используются, так и возможностями технологии производства. Разработанное авторами программное обеспечение поддерживает широкий спектр методов проецирования. Рис. 2 иллюстрирует некоторые из таких методов.

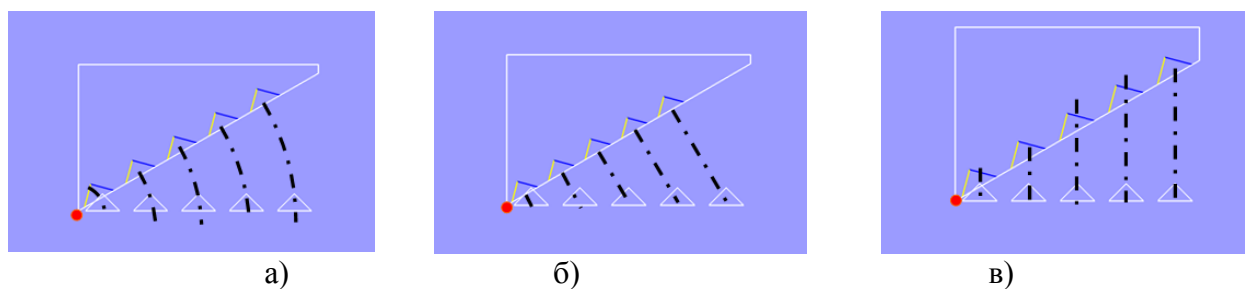


Рис.2. Способы проецирования микроэлементов

Как правило, проецирование осуществляется относительно некоторой точки – центра проекции (обозначен красной точкой на рис. 2), которая выбирается пользователем (обычно

в центре кривизны поверхности). "Ортогональная" проекция (Рис. 2а) формируется вращением исходного плоского распределения вокруг центра проекции. Для простых форм поверхности этот тип сохраняет как форму микроэлементов, так и дистанцию между ними. "Поверхностная" (Рис. 2б) и "Плоская" (Рис. 2с) проекции переносят микроэлементы ортогонально поверхности или плоскости проекции. Такие способы вносят некоторое искажение в форму и дистанцию между микроэлементами. Рис 3. иллюстрирует наиболее оптимальную методику проецирования. Данный тип проецирования поддерживает два важных условия:

1. Сохранение исходной дистанции между микроэлементами: $d_i = d^m_i$;
2. Сохранение исходного размера микроэлементов: $s_i = s^m_i$

Этот метод проекции наиболее удобен в моделировании и оптимизации и является наиболее используемым. Разработанное программное обеспечение позволяет выводить полную информацию о распределении микроэлементов на реальной поверхности (3D координаты микроэлементов на кривой поверхности, а также нормали к поверхности в точках с данными координатами), необходимую для их производства.

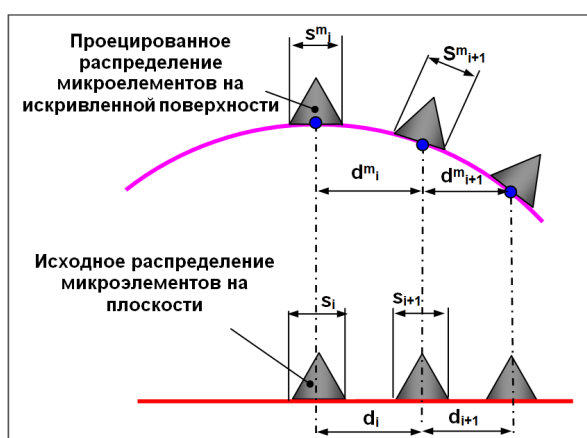


Рис.3. Оптимальное проецирование

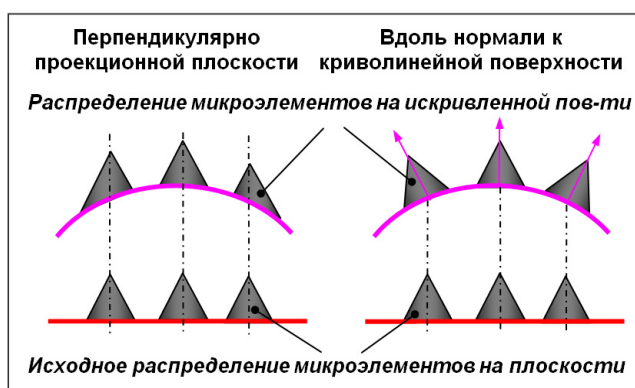


Рис.4. Произвольная ориентация микроэлементов

При проецировании микроэлементов важным параметром является ориентация микроэлементов. Разработанное программное решение позволяет моделировать произвольную ориентацию микроэлементов, включая наиболее распространенную, показанную на Рис. 4.

9. Пример расчета и оптимизации осветительной системы

В качестве примера практического применения разработанной методики представлены результаты расчета осветительного устройства приборной панели автомобиля. Рис. 5а представляет принципиальную оптическую схему моделируемого прибора.

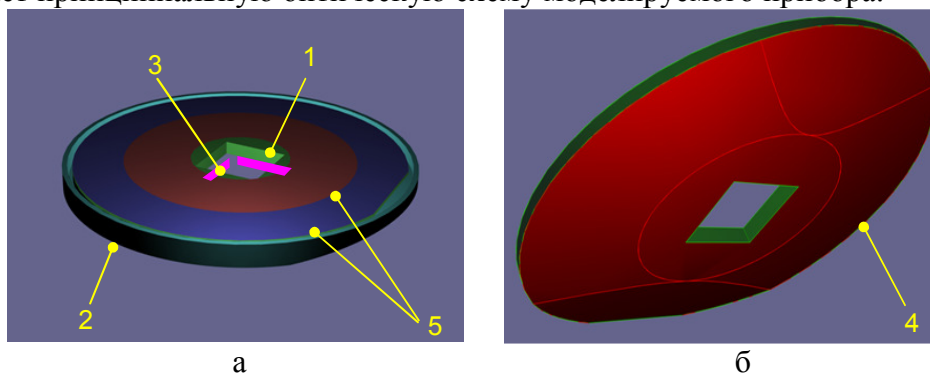


Рис.5. Принципиальная схема осветительной системы

Модель состоит из четырех основных компонентов: 1 – светопроводящей пластины; 2 – отражателя; 3 – 4-х светодиодов, расположенных вдоль граней квадратного отверстия, вырезанного в центре светопроводящей пластины; 4 – нижней поверхности светопроводящей

пластины, состоящей из нескольких криволинейных частей (микроэлементы спроецированы на поверхность 4); 5 – выходной поверхности системы, разделенной на два кольца, в которых достигаются заданные уровни яркости.

Целевая функция для оптимизации показана на Рис. 6. В соответствии с входными требованиями максимальный уровень яркости 100% должен быть достигнут на внешнем кольце. Внутреннее кольцо должно иметь 60% уровень яркости.

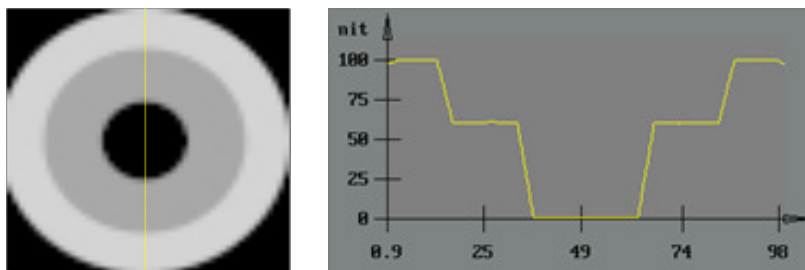


Рис. 6. Целевая функция оптимизации

Для оптимизации были выбраны микроэлементы сферической формы. В данном случае микроэлементы имеют постоянную форму и размер, но распределены по поверхности с неравномерной плотностью.

В качестве параметра оптимизации использовалось двумерное распределение плотности микроэлементов. Оптимизация стартовала с равномерного распределения микроэлементов средней плотности. На Рис. 7 представлено распределение яркости исходного шага оптимизации.

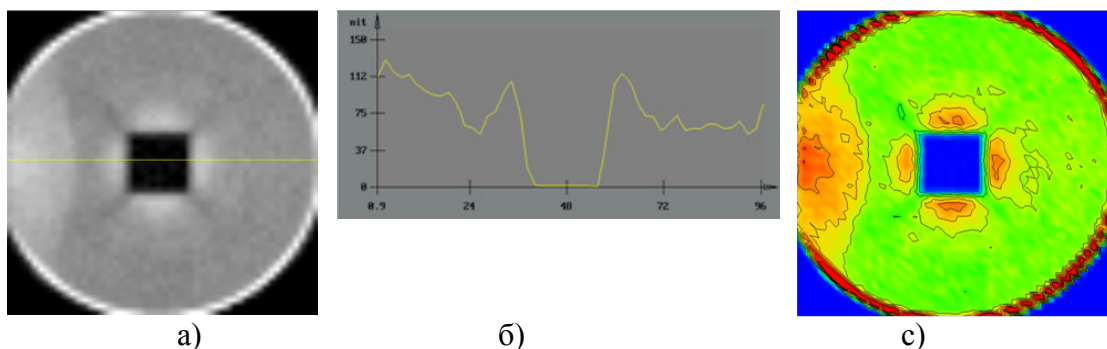
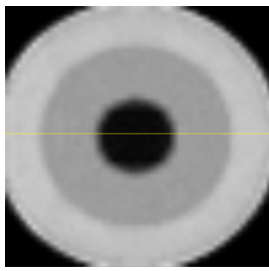


Рис.7. Распределение яркости на исходном шаге оптимизации

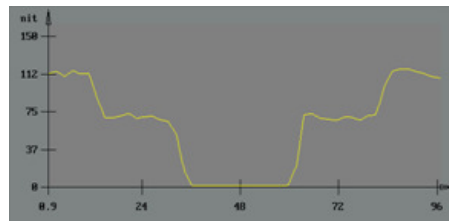
Здесь (а) – выходное двумерное распределение яркости в формате оттенков серого; (б) – график распределения яркости вдоль центрального сечения; (в) – выходное двумерное распределение яркости, представленное в псевдоцвете.

Очевидно, что исходное распределение яркости достаточно неравномерно. Кроме того, целевая функция требует дискретного распределения яркости на внешнем и внутреннем кольцах (см. Рис. 6).

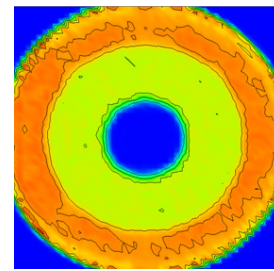
Проведенная автоматическая оптимизация распределения яркости осветительной системы позволила достичь целевое распределение яркости. На Рис. 8 представлено распределение яркости, полученное на конечном шаге оптимизации.



а)



б)

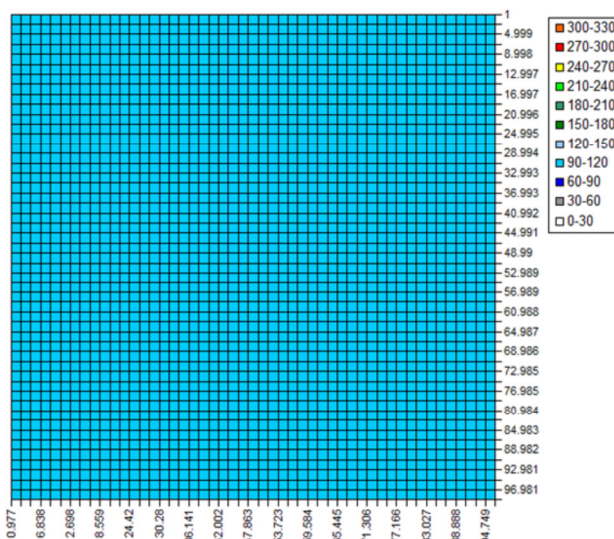


с)

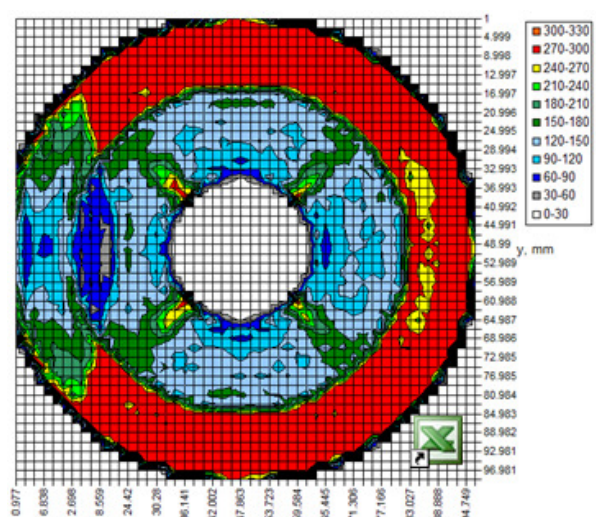
Рис.8. Распределение яркости на финальном шаге оптимизации

Финальные результаты оптимизации хорошо согласуются с целевой функцией. Распределение яркости внутри колец достаточно равномерно, также обеспечен дискретный скачок яркости между кольцами.

Распределение плотности микроэлементов на криволинейной поверхности светопроводящей пластины на исходном шаге и конечном шаге оптимизации представлено на Рис. 9а и 9б соответственно. Характер финального распределения достаточно сложен, но вполне закономерен. Максимальная плотность микроэлементов сосредоточена в зонах внешнего кольца, наиболее удаленных от источников света. Во внутреннем кольце плотность микроэлементов дискретно уменьшается для достижения требуемого снижения яркости.



а)



б)

Рис. 9. Распределение плотности микроэлементов на криволинейной поверхности

10. Заключение

Разработаны программные решения для корректного и эффективного проецирования микроэлементов на криволинейные поверхности любой сложности. Показано, что разработанное программное обеспечение позволяет осуществлять проектирование реальных осветительных систем с нетривиальными целевыми функциями. Разработанные программные решения были включены в пакет программ оптического моделирования Lumicept [2].

11. Литература

- [1] D. Zhdanov, A. Garbul, V. Mayorov, V. Sokolov, I. Potemin, T. Hyodo, A. Voloboy, V. Galaktionov Automatic Design of Illumination Systems OPTICAL REVIEW Vol. 20, No. 2 (2013)
- [2] Lumicept – Integra Inc. <http://www.integra.jp/en/products/lumicept>