

## Автоматическое проектирование осветительных систем жидкокристаллических дисплеев

А.А. Гарбуль, Д.Д. Жданов, В.А. Майоров, В.Г. Соколов  
ГОИ им. С.И. Вавилова, ГОИ им. С.И. Вавилова, ИПМ им. М.В. Келдыша, ИПМ им. М.В. Келдыша

Работа посвящена решению задачи оптимизации световых характеристик жидкокристаллических дисплеев. Предлагаемое программное решение позволяет найти оптимальные параметры рассеивающей микроструктуры, обеспечивающие требуемое распределение выходной яркости дисплея. Работа иллюстрируется результатами проектирования различного вида осветительных систем жидкокристаллических дисплеев.

### Введение

Основная задача проектирования осветительных систем современных жидкокристаллических дисплеев заключается в необходимости одновременного уменьшения энергопотребления и увеличения яркости дисплея. Кроме того, принимая во внимание требования эргономики, а именно, равномерность подсветки дисплея, задача проектирования осветительных систем носит нетривиальный характер.

Остановимся подробнее на структуре современного жидкокристаллического дисплея. Система торцевой подсветки показана на рис. 1. Как правило, дисплей состоит из следующих основных элементов: (а) освещаемый жидкокристаллический экран, (б) источник света (люминисцентная лампа или светодиоды), (в) отражатель с рассеивающей микроструктурой, (г) фильтры (диффузные, поляризационные и повышения яркости).

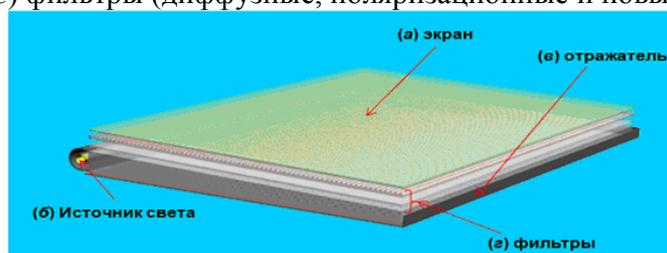


Рис. 1. Основные компоненты жидкокристаллического дисплея

Конструктивные особенности осветительных систем могут значительно различаться в зависимости от производителя, предназначения дисплея и т.п., однако, в целом, принципиальная схема остается одной и той же. Высокая и равномерная яркость экрана обеспечивается оптимальным выбором параметров рассеивающей микроструктуры. В осветительных системах, использующих торцевую подсветку, микроструктура наносится на поверхность светопроводящей пластины, и требуемое распределение яркости на экране обеспечивается правильным выбором параметров формы отдельных микроэлементов и параметрами их распределения, например, размером, ориентацией или плотностью распределения.

Свет, распространяющийся от источника света, испытывает многократные отражения и преломления в светопроводящей пластине (в ряде случаев отражения и преломления на рассеивающей микроструктуре носят диффузный характер). Поэтому в системах такого типа траектории лучей имеют неопределенный характер и для вычисления распределения яркости используются стохастические методы трассировки лучей [1, 2]. Принципиальной особенностью стохастических методов трассировки лучей является наличие случайного шума в результирующем распределении яркости.

Среднеквадратическое отклонение «шумовой» составляющей зависит от количества протрассированных лучей в системе, то есть, времени расчета. Как правило, для получения «приемлемого» результата (в котором шумовая составляющая значительно ниже рассчитываемой яркости) требуется порядка часа расчета на современном компьютере. Такое длительное время вычислений делает невозможным производить оценку влияния параметров микроструктуры на распределение яркости в процессе оптимизации. Кроме того, параметры микроструктуры, как правило, представленные в виде двумерных функций распределения микроэлементов (плотности распределения, размера, ориентации и т.п.), описываются большим количеством независимых параметров (до десятков тысяч). В результате применение оптимизационных методов расчета, основанных на вычислении значения производных оптимизируемой функции распределения яркости от параметров микроструктуры, становится практически невозможным [3].

С другой стороны, влияние параметров микроструктуры на результирующую яркость носит достаточно локальный характер, и, в первом приближении, можно считать, что яркость экрана равна произведению освещенности области микрогеометрии под экраном на ее коэффициент яркости. Данный принцип был положен в основу предлагаемого ниже оптимизационного метода.

### Метод оптимизации яркости распределения экрана жидкокристаллического дисплея

Предположение о непосредственном влиянии параметров микроструктуры на значение яркости экрана в области данной микроструктуры было принято за основу в разработанном оптимизационном алгоритме. Алгоритм состоит из двух основных фаз: подготовительной и собственно оптимизационной.

Во время подготовительной фазы оцениваются коэффициенты влияния (пропорциональные среднему коэффициенту яркости) параметров распределения отдельных зон рассеивающей микроструктуры на яркость экрана. Для оценки влияния выбирается ограниченное количество зон (ячеек) рассеивающей микроструктуры и для некоторых (усредненных) параметров микроструктуры вычисляются пространственные гониометрические диаграммы освещения выбранных зон (левая часть рис. 2 показывает эти зоны в светопроводящей пластине). Полученные гониометрические диаграммы далее используются для оценки влияния параметров микроструктуры на яркость экрана над поверхностью микроструктуры. Для расчета коэффициентов влияния воспроизводятся рассчитанные условия освещения ячеек (правая часть рисунка 2 демонстрирует исследуемую ячейку), варьируются параметры распределения микроструктуры и вычисляется значение яркости для всех вариаций параметров распределения.

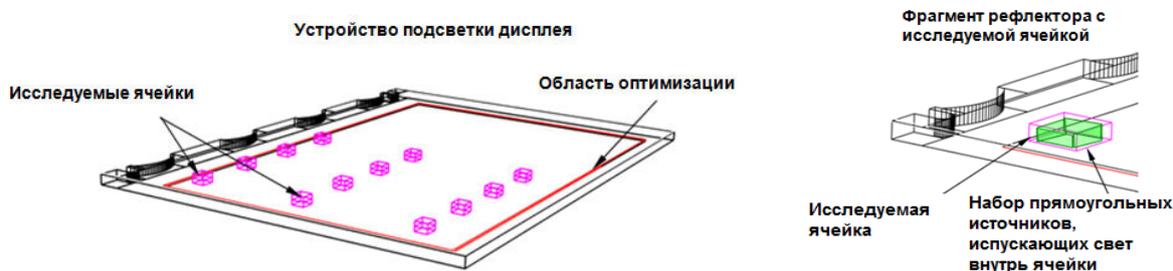


Рис. 2. Схема оценки влияния параметров микроструктуры на яркость экрана

Двухступенчатая оценка влияния параметров распределения (сначала оценка условий освещения, а затем собственно оценка яркости) была выбрана как наиболее эффективное решение. В отличие от расчета коэффициентов влияния параметров

микроструктуры в полной схеме, оценка влияния параметров микроструктуры для отдельных ячеек на порядки эффективнее. Расчет коэффициентов влияния параметров микроструктуры для полной системы осуществляется простой билинейной интерполяцией по значениям, рассчитанным в выбранных зонах.

Вторая фаза, собственно оптимизация, выполняется после окончания подготовительной фазы. Принимая во внимание, что яркость области экрана может быть оценена как произведение освещенности области рассеивающей микроструктуры, находящейся в непосредственной близости к экрану, на коэффициент влияния этой области, оптимизируемая система подсветки покрывается дополнительными детекторами, как показано на рис. 3.

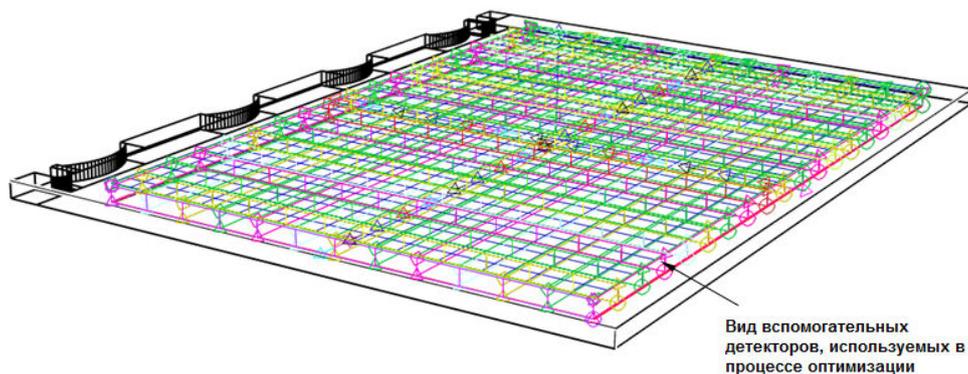


Рис. 3. Вспомогательные детекторы освещенности на рассеивающей микроструктуре

Для оптической системы, расширенной вспомогательными детекторами, запускается процесс оптимизации. Оптимизация – это циклический процесс, где каждый цикл состоит из следующих трех основных операций:

- I. Для текущих параметров рассеивающей микроструктуры производится вычисление распределений яркости экрана и освещенности микроструктуры.
- II. Оценивается отклонение распределения расчетной яркости от заданной (не обязательно равномерной), и если отклонение в пределах требуемого допуска, то процесс оптимизации прекращается. В противном случае оценивается новое значение параметров распределения рассеивающей микроструктуры. Оценка параметров микроструктуры осуществляется исходя из двух предположений. Во-первых, для обеспечения требуемой яркости экрана коэффициент влияния (а он однозначно связан с параметрами микроструктуры, рассчитанными на первой фазе) вычисляется как отношение требуемой яркости к освещенности микроструктуры. Во-вторых, используется уточнение данного расчета, а именно данную яркость экрана обеспечивают текущие параметры микроструктуры (однозначно связанные с коэффициентом влияния).
- III. В соответствии с произведенной оценкой, изменяются параметры микроструктуры, и идет возврат к первой операции.

Необходимость выполнения ряда итераций обусловлена нелинейностью системы. Так изменение параметров микроструктуры в одной области меняет не только яркость в пределах данной области, но и освещенность в соседних областях. Кроме того, на данный момент разработанный алгоритм ограничен одним оптимизационным распределением. То есть, допускается вариация только одного параметра рассеивающей микроструктуры, например, только плотности распределения.

Разработанный оптимизационный алгоритм был реализован в программе PLED и основывается на программном комплексе SPECTER [4], который обеспечивает задание

геометрии системы подсветки (включая рассеивающую микроструктуру) и все светотехнические расчеты освещенностей и яркостей.

### Примеры работы программы оптимизации параметров жидкокристаллических дисплеев

В качестве примеров представлены два результата работы программы оптимизации, примененной к различным типам системы подсветки. В первом примере использовалась система подсветки дисплея микрокомпьютера. Принципиальная схема подсветки представлена на рис. 3. Микрогеометрия (микроцилиндры) нанесена на нижнюю поверхность светопроводящей пластины, которая освещается 4 светодиодами. Цель дизайна – добиться максимальной и равномерной яркости экрана за счет вариации высот микроцилиндров. Результаты оптимизации показаны на рис. 4.

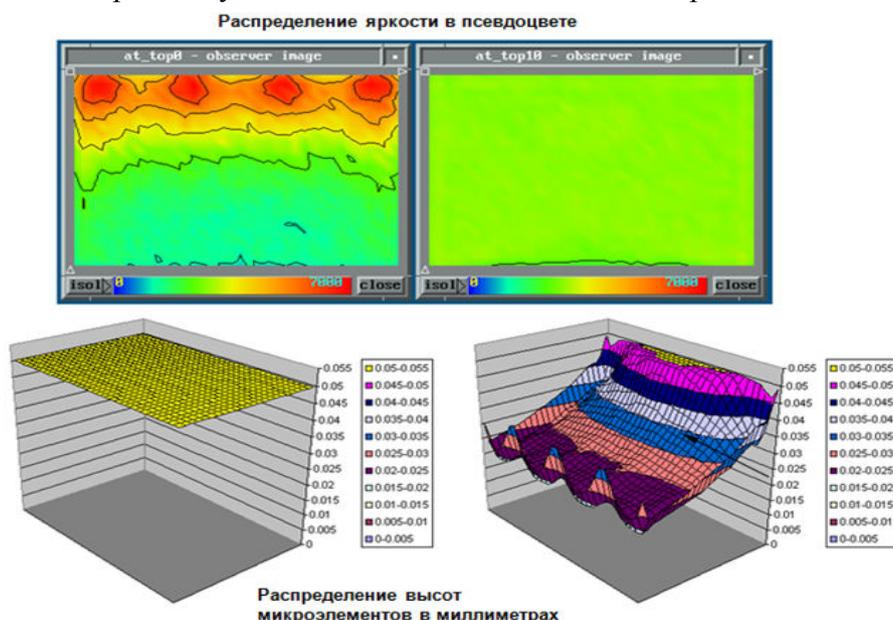


Рис. 4. Результат оптимизации распределения яркости экрана микрокомпьютера

С левой стороны рис. 4 показан начальный шаг оптимизации (распределение яркости и высот микроэлементов соответственно), а с правой стороны – результат финального (14-го) шага. Общее время оптимизации 7.5 часов.

Во втором примере использовалась так называемая Uni-Brite система. Принцип работы данной системы показан на рис. 5.

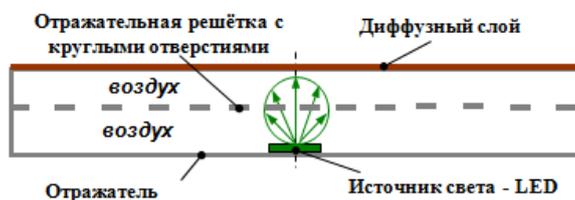


Рис. 5. Принципиальная схема Uni-Brite осветительной системы

Источник света повышенной яркости освещает тонкий воздушный короб с высоким (близким к абсолютному) коэффициентом диффузного отражения. За счет высокого отражения свет распространяется вдоль всей поверхности короба. Для вывода света на экран верхняя поверхность короба содержит микроотверстия. Для данной системы ставилась задача получения равномерной яркости экрана, расположенного над

диффузным слоем, с помощью оптимального выбора диаметров микроотверстий. Результат оптимизации представлен на рис. 6.

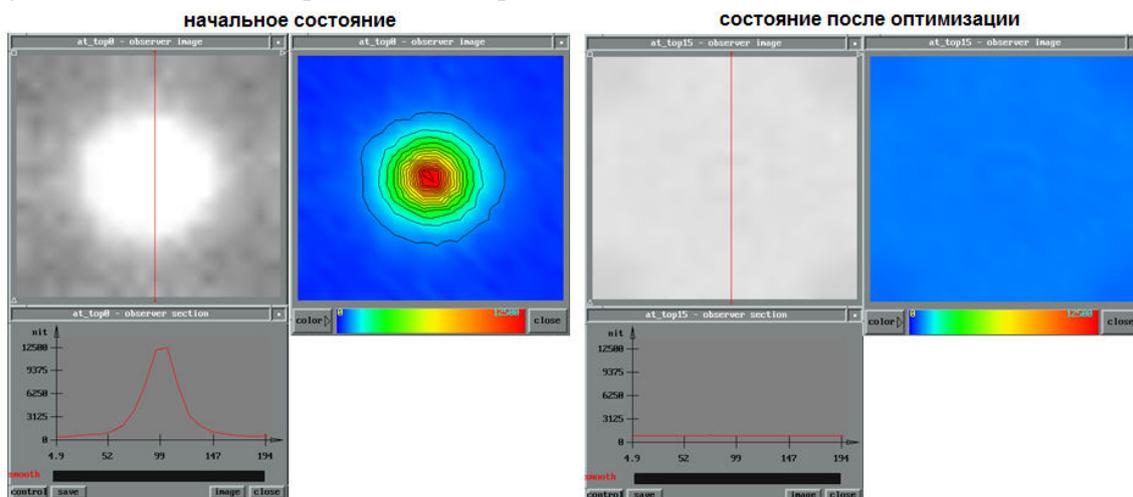


Рис. 6. Результат оптимизации распределения яркости экрана Uni-Brite системы

С левой стороны рис. 6 показан начальный шаг оптимизации (распределение яркости экрана), с правой стороны – результат финального (17-го) шага. Общее время оптимизации 6 часов.

### Заключение

Разработанная оптимизационная программа успешно применялась при проектировании жидкокристаллических дисплеев мониторов, сотовых телефонов и приборных панелей автомобилей. Как правило, допустимая вариация яркости (обычно в пределах 5%) достигается после 10-20 итераций в течение 5-15 часов расчета. В планы работы по улучшению качества оптимизации входит модификация оптимизационного алгоритма, который будет обеспечивать оптимизацию яркости как функции нескольких распределений параметров микроструктуры, например независимая оптимизация плотности распределения микроэлементов и их ориентации.

### Благодарности

Работа поддержана грантами Президента РФ НШ-8129.2010.9, РФФИ № 10-01-00302, а также компанией Integra Inc.

Авторы выражают свою признательность И.С. Потемину за предоставленные материалы.

### Литература

- [1] Волобой А.Г., Галактионов В.А., Жданов Д.Д. Технология оптических элементов в компьютерном моделировании оптико-электронных приборов // "Информационные технологии в проектировании и производстве", № 3, 2006.
- [2] Волобой А.Г., Галактионов В.А., Жданов Д.Д. Программное моделирование светопроводящих систем // Препринт ИПМ № 55, Москва, 2007
- [3] T.L.R.Davenport, W.J.Cassarly, "Optimizing Density Patterns to Achieve Desired Light Extraction For Displays" // Optical Research Associates, 7310 E. Williams Circle, Suite 610, Tucson, AZ, USA 85711, International Optical Design Conference, 2006.
- [4] <http://www.integra.jp/en/specter/index.html>