

# ПОВЫШЕНИЕ ЯРКОСТНОГО КОНТРАСТА ЭЛЕКТРОННЫХ ВИДЕОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

## РАСЧЕТ И ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

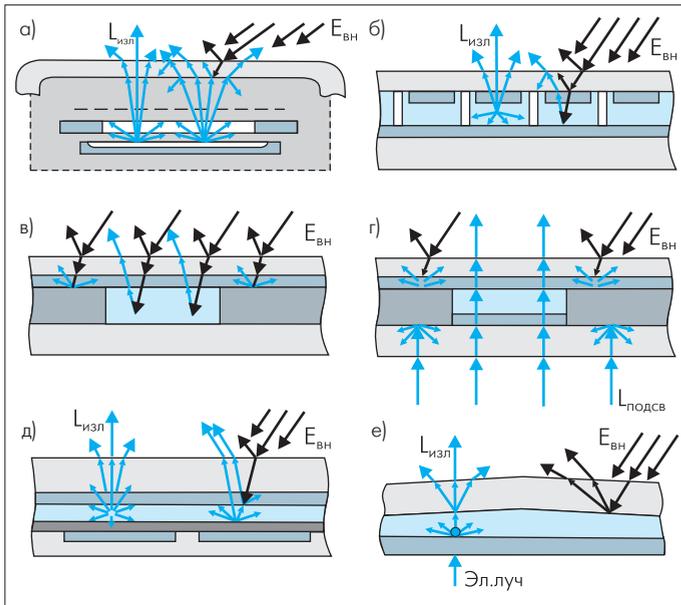
Гарантировать выполнение главной задачи видеопреобразователей перспективных средств отображения информации (СОИ) – обеспечение высокого качества восприятия оператором предъявляемой визуальной информации – невозможно без количественной оценки их основных светотехнических и эргономических параметров. А они, в первую очередь, зависят от яркостного контраста изображения. Для его количественной оценки необходимо иметь универсальный, т.е. пригодный практически для любого типа видеопреобразователя независимо от физических принципов его реализации и условий применения, компьютерный метод расчета, учитывающий влияние всех параметров всех светообразующих слоев преобразователя на значение контраста. Подобный метод позволит прогнозировать резервы повышения контраста того или иного типа видеопреобразователя, обосновать целесообразность модернизации его конструктивных или технологических характеристик без проведения дорогостоящих экспериментов. Разработка такого метода – важное направление исследований, оправданных как с экономической, так и с технологической точек зрения. Именно по этому пути и пошли ученые Московского государственного института электроники и математики (технического университета).



### ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДУ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СОИ

Основной элемент любого средства отображения информации – видеопреобразователь "сигнал–свет", т.е. устройство преобразования сигнала в свет (ЭЛТ, ЖК-, электролюминесцентные, вакуумно-люминесцентные индикаторы, газоразрядные панели). Сегодня для разработки или модернизации современного видеопреобразователя с высокими техническими и эргономическими параметрами необходимо иметь автоматизированный (компьютерный) метод его расчета, который позволял бы оценить зависимость его яркостно-контрастных характеристик от параметров каждого светоформирующего слоя конструкции, а также рассчитать влияние на эти характеристики его конструктивных, технологических особенностей, уровня внешней освещенности, спектров свечения устройства и источника освещения, других условий эксплуатации. Метод расчета также должен быть пригоден для прогнозирования потенциальных возможностей любого типа видеопреобразователя и оценки технических и эргономических параметров перспективных СОИ. На его основе могут быть созданы методики инженерных расчетов и компьютерные программы, поддерживающие автоматизированное проектирование видеопреобразователей и СОИ. Для разработки такого метода необходимо, прежде всего, сформулировать научно обоснованные требования к видеопреобразователю с учетом характеристик СОИ, для которого он предназначен. Эти требования должны базироваться на физико-технологических, конструкторских и эргономических исследованиях элементной базы СОИ. Как показал анализ современных работ в области оптимизации параметров СОИ, подобные исследования ранее, к сожалению, проводились в ограниченном масштабе и с узкоспециализированными целями.

Разработка эффективного метода исследования светотехнических характеристик СОИ на основе анализа световых потоков в видеопреобразователях и определение оптимальных и допустимых значений параметров СОИ и условий эксплуатации потребовали теоретических исследований с целью установления количественного соотношения между яркостным контрастом формируемого изображения и физическими параметрами светообразующих элементов СОИ. Необходимо было теоретически обосновать модели процесса образования яркостного контраста с учетом внешней освещенности и многократного отражения световых потоков, а также выбранный метод сравнения и оценки светотехнических характеристик СОИ различной физической природы.



**Рис. 1. Формирование световых потоков в вакуумно-люминесцентных индикаторах (ВЛИ) (а), газоразрядных (ГРП) (б), отражательных ЖК- (в), просветных ЖК- (г), электролюминесцентных индикаторах (ЭЛИ) (д) и в ЭЛТ (е)**

Кроме того, с целью проверки адекватности моделей световых потоков в изученных типах видеообразователей и выработки конкретных рекомендаций по совершенствованию исследованных типов СОИ требовалось экспериментально определить:

- влияние параметров всех светообразующих элементов СОИ и внешней освещенности на функцию отклика;
- закономерности изменения восприятия информации операторами в зависимости от яркостно-контрастных характеристик СОИ;
- возможность обоснования критерия определения границ оптимальных и допустимых значений параметров СОИ и условий работы операторов;
- влияние абсолютных значений освещенности, яркости и угловых размеров символа на значение граничного контраста;
- возможность взаимной компенсации светотехнических характеристик СОИ, угловых размеров символов, внешней освещенности и времени экспозиции.

### ЯРКОСТНЫЙ КОНТРАСТ СОИ И ЕГО РАСЧЕТ

Представим контраст в виде произведения трех сомножителей:

$$K = \frac{L_2 - L_1}{L_1} = \frac{L_2 - L_1}{L_2} \cdot \frac{L_2}{L_1} \cdot \frac{L_1}{L_a} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

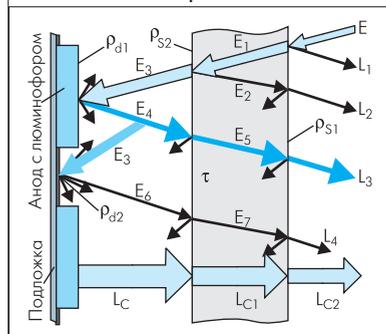
где:  $L_1$  – яркость фона,  $L_2$  – яркость объекта,  $L_a$  – яркость адаптации. Каждый из сомножителей может быть интерпретирован в соответствии со светотехническими терминами, как  $K_1$  – коэффициент контраста объекта с фоном;  $K_2$  – контрастность объекта с фоном;  $K_3$  – коэффициент адаптации. При этом  $K = (K_2 - 1)K_3$  и  $K_1 = (K_2 - 1)/K_2$ .

Таким образом, яркостный контраст зависит от параметров видеообразователя ("собственный приборный контраст"  $K_{ВП} = K_1 \cdot K_2$ ) и от параметров окружающей среды (различия между яркостью фона, определяемой параметрами светообразующих слоев видеообразователя, и яркостью адаптации –  $K_3$ ). Иными словами,  $K_{ВП}$  – это яркостный контраст при яркости адаптации, равной яркости собственного фона видеообразователя.

Рассмотрим собственный приборный контраст различных типов видеообразователей. Принципиальная аналогия формирования световых потоков в основных типах видеообразователей (рис. 1) позволяет искать единый подход к описанию процессов, происходящих в светообразующих слоях, и разработать единый метод их расчета.

Для анализа зависимости яркостного контраста от всех оптических параметров видеообразователя было предложено применить теорию направленных графов, использованную ранее для оптимизации структуры электролюминесцентного индикатора [1,2]. Этот метод расчета удобен тем, что достаточно сложное распределение светового потока в многослойной структуре можно представить в наглядной форме без риска потерять какую-либо составляющую. Метод позволяет рассчитывать контраст с любой степенью точности, в зависимости от поставленной задачи. Можно учитывать или не учитывать явление многократного отражения света в структуре видеообразователя. Для более полного анализа процессов, происходящих в выбранном слое, можно учесть, например, многократные отражения только в первом слое или в любом другом по выбору. Удобство этого метода расчета состоит еще и в том, что при усложнении структуры, например при увеличении числа оптических слоев, наличии отражающих и поглощающих поверхностей, принципы расчета не изменяются, а благодаря наглядности графов усложнение структуры не приводит к появлению ошибок. Построение графа сложной структуры позволяет наглядно оценить вклад в формирование результирующего контраста каждой из составляющих, получить для них количественные оценки и принять решение о целесообразности применения дополнительных средств. С помощью теории графов может быть рассчитан любой тип видеообразователя.

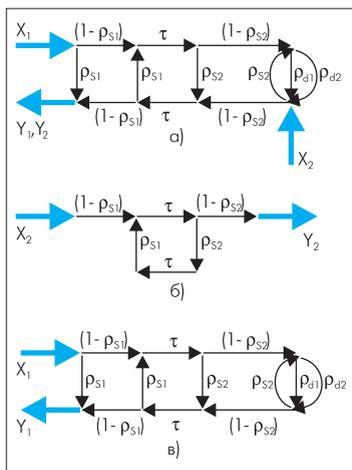
Теория графов была использована нами для анализа яркостного контраста ВЛИ. Подобные расчеты, проведенные для газоразрядных, отражательных и просветных ЖК-экранов, оказались столь же полезными для прогнозирования их потенциальных возможностей. Для построения оптической модели ВЛИ рассмотрим прохождение пучка света в его слоях. Так как реальное распределение светового потока в многослойной структуре достаточно сложное, введем некоторые упрощения, позволяющие нагляднее представить влияние изменения оптических параметров различных слоев ВЛИ на значение контраста. Во-первых, предположим, что образование ореольного поля свечения не оказывает существенного влияния на контраст изображения, что справедливо уже при достаточно малых уровнях внешней освещенности. Во-вторых, ограничим рассмотрение ортогональным по отношению к поверхности слоев распространением световых потоков без учета отражений высших порядков. В-третьих, при построении графов световых потоков ВЛИ будем рассматривать происходящие в их структуре основные процессы только с точки зрения светооптических свойств используемых ма-



**Рис. 2. Распределение световых потоков в ВЛИ**

териалов.

Решение графов состоит из набора решений идентичных подграфов, каждый из которых описывает процессы отражения, прохождения и поглощения световых потоков в конкретных слоях видеообразователя (рис. 2). Расчет выбранного светотехнического параметра сводится к последовательному расчету коэффициен-



**Рис.3. Построение полного графа световых потоков ВЛИ (а), подграфа прошедшего пучка света (б) и подграфа отраженного пучка света (в)**

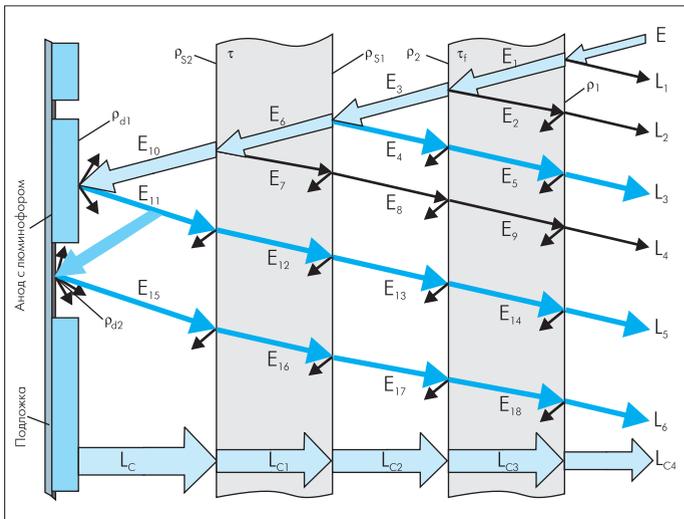
Для решения полного графа ВЛИ (рис.3а) разобьем его на два самостоятельных подграфа: для светового потока, испускаемого возбужденным слоем люминофора (подграф проходящего света, рис.3б), и для светового потока внешнего источника, падающего на рабочую поверхность индикатора (подграф отраженного света, рис.3в). Аналогично могут быть исследованы комплексы, состоящие из видеопреобразователя и дополнительного светофильтра (рис. 4 и 5) с антибликовыми, контрастирующими (поглощающими) или цветоизбирательными свойствами, используемого для повышения контраста. В частности, в индикаторах РЛС используются цветные фильтры, а в дисплеях бортовых систем – нейтральные фильтры.

**ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ СВОТТЕХНИЧЕСКИХ**

**ПАРАМЕТРОВ СОИ**

Для количественной оценки собственного приборного контраста видеопреобразователя впервые была разработана компьютерная программа расчета CONTRAST. Она может быть использована для анализа картины распределения представленных графами световых потоков любого типа видеопреобразователя без фильтра или с фильтрами [3–5]. При расчетах значение яркости свечения активных индикаторов или коэффициента отражения (пропускания) пассивных устройств может варьироваться в практически реализуемых современными видеопреобразователями пределах. Значения внешней освещенности могут быть заданы с учетом использования приборов в наземных и бортовых средствах отображения информации.

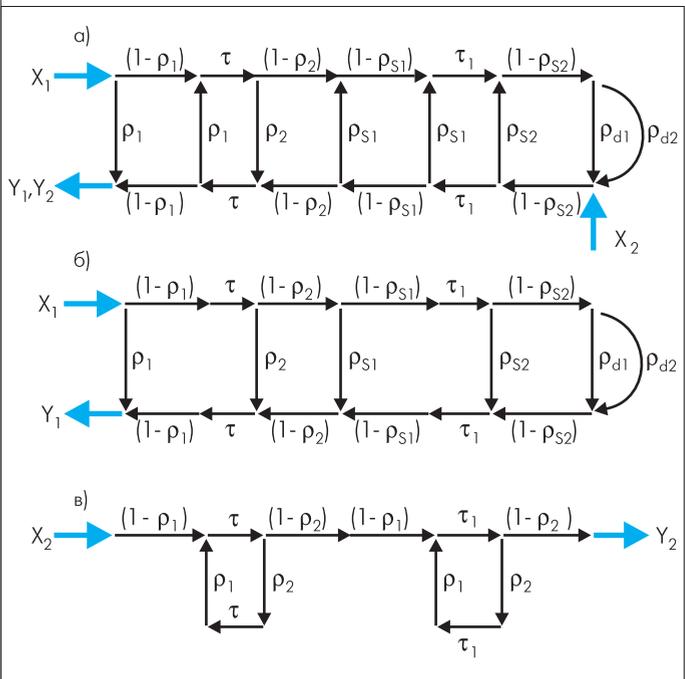
В первой версии программы анализ ограничивался расчетом яркостного контраста одного видеопреобразователя. Она не позволяла



**Рис.4. Структура световых потоков в ВЛИ с защитным фильтром-экраном**

тов передачи выделяемых подграфов через коэффициенты отражения и поглощения различных слоев.

сравнить изменения конструктивных, светотехнических или технологических параметров анализируемого и другого изделия, в котором менялся какой-либо из этих параметров. Это затягивало процесс выбора параметров, поиска наилучших вариантов при проектировании новых видеопреобразователей. Новая версия программы лишена этого недостатка. Рабочее поле экрана содержит две таблицы (рис.6), каждая из которых соответствует одному изделию (в данном случае – ВЛИ). В двух колонках окон приведены все влияющие на величину контраста параметры каждого видеопреобразователя, параметры нейтрального фильтра (для расчета результиру-



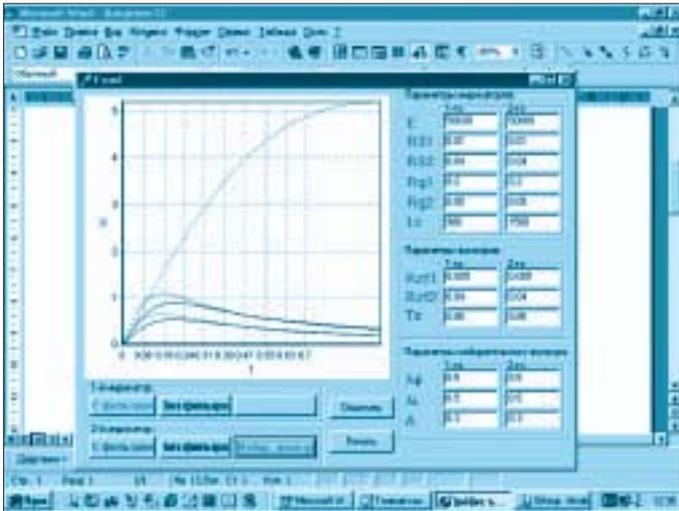
**Рис.5. Построение полного графа световых потоков ВЛИ с фильтром (а), подграфа отраженного света (б) и подграфа излученного света (в)**

ющего контраста с его учетом) и параметры избирательного фильтра, в том числе его спектральная характеристика. Клавиши на экране позволяют выводить результаты расчета для каждого анализируемого варианта как по отдельности, так и в сравнении их друг с другом. Для удобства интерпретации результатов при выводе на экран одновременно нескольких кривых цвет надписи на клавише автоматически задает цвет воспроизводимого результата на поле графиков.

**РАСЧЕТ ЗНАЧЕНИЙ ОСНОВНЫХ СВОТТЕХНИЧЕСКИХ И ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЛИ**

Возможности программы CONTRAST оценивались по результатам расчета различных вариантов параметров ВЛИ. Варьировались все влияющие на значение контраста параметры индикатора, нейтрального и избирательного светофильтров, а именно:

- собственная яркость люминофора  $L_c$ . Чем выше яркость, тем больше контраст при данной освещенности, но форсирование режима работы ВЛИ может привести к уменьшению его срока службы;
- коэффициент отражения от внешней поверхности стекла  $\rho_{s1}$ . Уменьшение  $\rho_{s1}$  дает ощутимое (50–60%) увеличение контраста, так как внешний световой поток, попадая на лицевую сторону индикатора, не создает мощного обратного (отраженного) светового потока, мешающего восприятию информации пользователем;



**Рис.6. Пример воспроизведенных на экране ПК результатов программы расчета параметров первого образца видеопреобразователя без фильтра и с фильтром и второго образца без фильтра, с нейтральным и с избирательным фильтром**

- коэффициент отражения от внутренней поверхности стекла  $\rho_{z2}$ . Его вклад в увеличение контраста значительно меньше, поэтому уменьшение этого коэффициента оправдано только тогда, когда остальные, более эффективные способы изменения контраста оказались недостаточными;
- коэффициент диффузного отражения от поверхности люминофора  $\rho_{d1}$ . Основная проблема, возникающая при его уменьшении, состоит в том, что затемнение анода приводит к снижению эффективности излучения;
- коэффициент диффузного отражения от поверхности подложки  $\rho_{d2}$ . Его вклад в контраст менее значим, а его уменьшение не всегда экономически оправдано;
- коэффициенты зеркального отражения от внешней и внутренней поверхности фильтра  $\rho_{zf1}$  и  $\rho_{zf2}$ ;
- максимум спектрального излучения ВЛИ  $\lambda_L$ ;
- максимум спектрального пропускания избирательного фильтра  $\lambda_{\phi}$ ;
- ширина области пропускания избирательного фильтра  $\Delta$ .

Результаты расчета показали, что как при наличии фильтра, так и без него, основное влияние на значение контраста оказывает первая отражающая поверхность. Коэффициенты отражения от поверхности анода и подложки дают ощутимый вклад, но при этом уменьшение коэффициента отражения от анода ухудшает эффективность его работы. Применение спектрального фильтра с пропусканием, соответствующим спектру свечения анодов, позволило получить приемлемый контраст при значении внешней освещенности, при котором нейтральный фильтр не мог обеспечить достаточный контраст. Дополнительное преимущество избирательного фильтра по сравнению с нейтральным при прочих равных условиях – вдвое больший максимум контраста, смещенный вправо, т.е. в сторону большего коэффициента пропускания, что улучшает яркостные характеристики индикатора и может существенно продлить его срок службы.

Полученные зависимости показывают, что до тех пор, пока внешняя освещенность не превышает 5000–10000 лк, не имеет смысла устанавливать фильтр для ВЛИ, так как высокая яркость люминофора видеопреобразователя обеспечивает необходимый контраст. При дальнейшем повышении освещенности до 20000–25000 лк применение нейтрального фильтра, при прочих равных условиях,

позволяет получить контраст, равный 3. Необходимый минимум контраста достигим и при 50000 лк, но при таком уровне освещенности возникает проблема получения достаточной яркости изображения, поскольку коэффициент пропускания нейтрального фильтра становится слишком низким. Требуемого качества восприятия оператором информации при высоких уровнях освещенности (30000–100000 лк) и реализуемых сегодня параметрах светообразующих слоев ВЛИ можно достичь только применив избирательный светофильтр.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований было также рассмотрено влияние коэффициентов отражения и пропускания светообразующих слоев на значение контраста цветной газоразрядной панели. Исследуемая модель ячейки ГРП была упрощена для получения только сравнительной количественной оценки степени влияния параметров слоев. Результаты исследования подтвердили возможность и целесообразность использования предложенного метода для прогнозирования потенциальных значений контраста любого типа видеопреобразователя.

Таким образом, разработанная программа проектирования индикаторов с максимальными значениями контраста CONTRAST позволяет без дорогостоящих экспериментов выбрать оптимальное решение и оценить пути совершенствования существующих индикаторов, сформулировать требования к новым материалам и технологиям, прогнозировать перспективы и области применения каждого типа приборов. В ближайшем будущем планируется использовать разработанный метод для оценки выпускаемых серийно и находящихся в эксплуатации СОИ, что позволит оценить их потенциальные возможности и указать конкретные пути их совершенствования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Быстров Ю.А., Литвак И.И., Персианов Г.М. Электронные приборы для отображения информации. – М.: Радио и связь, 1985.
2. Litvak I. Display means design by synthesis of ergonomic and engineering studies. – DISPLAYS, 1994, vol. 15, № 1.
3. Литвак И.И. Исследования, разработка и испытания дисплеев. – Приборы и системы управления, 1997, № 5.
4. Litvak I. I. Correlation of measurable characteristics and display "view-ability". – Digest of Technical Papers International Symposium SID, Vol. XXX, San Jose, California, 1999, May 18-20.
5. Litvak I. I. Optimization of the contrast characteristics of indicators and displays. – SID Conference Proceedings of Inventions and IP Issues in the Electronic Display Industry. – Austin, Texas (March 2000).