

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА  
СИНТЕЗА ВИЗУАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ

УДК 691.397.13

А. П. Якимович

(Москва)

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ  
ЭЛЕКТРОННЫХ ДИСПЛЕЕВ В ОБЪЕМНОМ ТЕЛЕВИДЕНИИ

Рассматриваются возможности использования в объемном телевидении различных типов современных электронных дисплеев. Показано, что стандартные дисплеи обычного ТВ размерами 30 × 40 см и 500 × 500 элементов разрешения позволяют создавать объемное изображение с геометрическими параметрами и разрешением, удовлетворяющими визуальные потребности человека. Однако для устранения дискретной структуры изображения ширина строк в дисплеях должна быть увеличена в несколько раз с соответствующим уменьшением их общего числа. С целью увеличения световой эффективности предлагаются некоторые модификации стандартных дисплеев.

**Введение.** В работах [1–7] рассматривается один из методов создания объемного телевидения (3D ТВ), в котором объемное изображение сцены воспроизводится для наблюдателя в виде ряда ее горизонтальных сечений. Эти сечения параллельны линии наблюдения, и поэтому к светоизлучающей матрице в трехмерном мониторе предъявляются особые и необычные требования. Так, эта матрица должна излучать преимущественно в тангенциальном направлении, т. е. параллельно ее поверхности. Создание такой матрицы требует дополнительных исследований и разработок в области электронных дисплеев. Цель настоящей работы состоит в определении возможностей и перспектив использования в качестве такой матрицы различных типов стандартных электронных дисплеев, предназначенных для работы в обычном телевидении (см., например, [8]). Из рассмотрения исключаются только дисплеи на основе жидких кристаллов, так как при тангенциальном направлении распространения считывающего излучения они дают низкий контраст изображения.

**Геометрические параметры и разрешение изображения.** Рассмотрим геометрические параметры воспроизводимых сечений и объемного изображения в целом при использовании в 3D-мониторе стандартных ТВ-дисплеев. Таким стандартным дисплеем будем считать некоторую светоизлучающую матрицу (СИМ) размером 30 × 40 см с 500 × 500 элементами разрешения. На рис. 1, *a* и *b* показаны соответственно вертикальное и горизонтальное

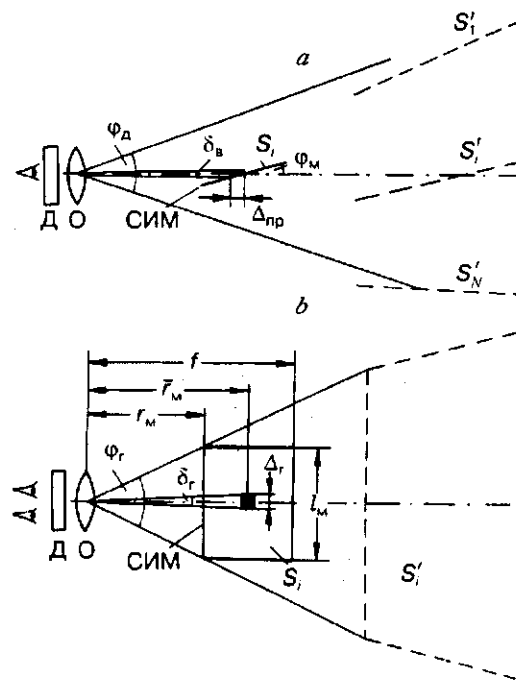


Рис. 1

сечения оптической схемы 3D-монитора на основе такой СИМ [2]. Излучающая поверхность СИМ ориентирована наклонно к оптической оси монитора. Полагаем, что ее излучение достаточно хорошо освещает выходную апертуру монитора, в которой установлены дефлектор оптической кадровой развертки (Д) и объектив (О). Объектив преобразует действительные изображения сечений  $S_1$ , создаваемые на СИМ, в мнимые, находящиеся в плоскости  $S'_1$ , а дефлектор, отклоняя световой поток в вертикальном направлении, создает последовательность горизонтальных сечений сцены  $S'_1, \dots, S'_N$ , рассматриваемую наблюдателем.

Угловые размеры изображения по горизонтали  $\varphi_r$ , как это видно из рис. 1, *b*, определяются угловыми размерами СИМ:

$$\operatorname{tg} \varphi_r / 2 = \frac{l_m}{2r_m}, \quad (1)$$

где  $l_m$  и  $r_m$  – соответственно поперечные размеры СИМ и расстояние от нее до объектива.

Геометрическая форма и размеры воспроизводимого сечения легко находятся с помощью формулы линзы. Например, используя объектив с фокусным расстоянием  $f = 70$  см и вышеописанную СИМ, установленную так, что ее дальняя от объектива сторона располагается в его фокальной плоскости (см. рис. 1, *b*), находим, что воспроизводимое сечение сцены будет представлять собой трапецию, малое основание которой располагается на

расстоянии 95 см от объектива, а большое – в бесконечности. Угловые размеры этой трапеции  $\sim 53^\circ$ .

Угловые размеры объемного изображения по вертикали определяются величиной угла сканирования дефлектора  $\varphi_d$ , т. е. не зависят от параметров СИМ и могут быть того же порядка, что и угловые размеры изображения по горизонтали.

Угловое разрешение по горизонтали для центральной области изображения, соответствующей центральной области СИМ, равно

$$\delta_r = \frac{\Delta_r}{\bar{r}_m}, \quad (2)$$

где  $\Delta_r$  – размеры светозлучающего элемента по горизонтали;  $r_m$  – расстояние от центральной области СИМ до объектива.

Для вышеописанной оптической схемы получаем из (2)  $\delta_r \approx 1,4 \cdot 10^{-3}$  рад. Эта величина приблизительно в 5 раз больше углового разрешения глаза  $\delta = 1' = 3 \cdot 10^{-4}$  рад. В случае использования дисплеев с повышенной четкостью угловое разрешение 3D-монитора по горизонтали будет всего лишь в 2,5 раза больше углового разрешения глаза.

Среднее угловое разрешение по вертикали также определяется угловыми размерами светозлучающего элемента:

$$\delta_v = \frac{\Delta_{np} \sin \varphi_m}{\bar{r}_m}. \quad (3)$$

Здесь  $\Delta_{np}$  – продольные размеры светозлучающего элемента;  $\varphi_m$  – угол наклона СИМ к оптической оси монитора.

Как видно из (3), вследствие того что СИМ наклонена к оптической оси системы, для квадратной светозлучающей ячейки ( $\Delta_r \sim \Delta_{np}$ ) угловое разрешение по вертикали существенно выше. Однако в получении такого высокого разрешения нет никакой необходимости. Более того, для того чтобы изображения объектов были непрерывными, т. е. не была заметна дискретная структура изображения в виде ряда сечений, оптическое угловое разрешение по вертикали, определенное в (3), должно равняться геометрической угловой толщине сечений, т. е. следует выполнять условие

$$\frac{\Delta_{np} \sin \varphi_m}{\bar{r}_m} = \frac{\varphi_d}{N_v}, \quad (4)$$

где  $\varphi_d$  – угол сканирования дефлектора;  $N_v$  – число воспроизводимых сечений.

Если полагать, что условие (4) выполняется, и потребовать, кроме того, чтобы угловые разрешения по вертикали и горизонтали были равны, то из (2) и (3) получаем

$$\Delta_{np} \sin \varphi_m = \Delta_r, \quad (5)$$

т. е. светозлучающая ячейка должна быть вытянута в продольном направлении. Это приводит к сокращению числа строк на СИМ и, следовательно,

числа воспроизводимых планов дальности в объемном изображении. Например, для угла наклона СИМ  $10^\circ$  удлинение светоизлучающих ячеек будет происходить приблизительно в 6 раз, что дает для рассматриваемой СИМ 63 строки и столько же воспроизводимых планов дальности. Согласно [9], стереоскопическая острота зрения наблюдателя существенно снижается с увеличением расстояния до объектов, и в интервале от 30 см до бесконечности он воспринимает около 250 планов дальности. Поэтому можно считать, что получаемое в нашем случае число планов дальности вполне удовлетворяет требованиям коммерческого объемного телевидения.

Суммируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что геометрические параметры, величина углового разрешения и число отображаемых планов дальности, получаемые при использовании в 3D-мониторе стандартных электронных дисплеев, вполне удовлетворяют визуальные потребности человека.

**Фотометрические характеристики изображения.** В реальных электронных дисплеях, представляющих собой обычно многослойные оптические элементы, для излучения, распространяющегося близко к тангенциальному направлению, существенно возрастает роль отражений на границах раздела слоев. Поэтому рассмотрим подробно яркость изображения для таких направлений наблюдения. На рис. 2, *a* показано два способа вывода излучения из электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), где 1 – слой люминофора, 2 – колба кинескопа. Первый из них – обычный (через лицевую стенку кинескопа) – показан в верхней части рис. 2, *a*. В этом способе выводимое излучение испытывает два отражения: на границах раздела люминофор – стекло и стекло – воздух. Во втором, приведенном в нижней левой части рис. 2, *a* и требующем специального кинескопа, вывод излучения осуществляется через боковую стенку кинескопа. В этом случае выводимое излучение испытывает три отражения: на границе люминофор – вакуум и на двух поверхностях боковой стенки кинескопа.

Вывод излучения из плазменной панели показан на рис. 2, *b*, где 1 – люминесцентный газ, 2 – подложки, 3 – прозрачные электроды. Электролюминесцентные панели по своей структуре тождественны плазменным, но поскольку показатель преломления электролюминофоров, как и люминофоров в ЭЛТ, обычно больше показателя преломления стекла, то ход световых лучей, создающих изображение, будет такой же, как в верхней части рис. 2, *a*. Прозрачные электроды плазменных и электролюминесцентных

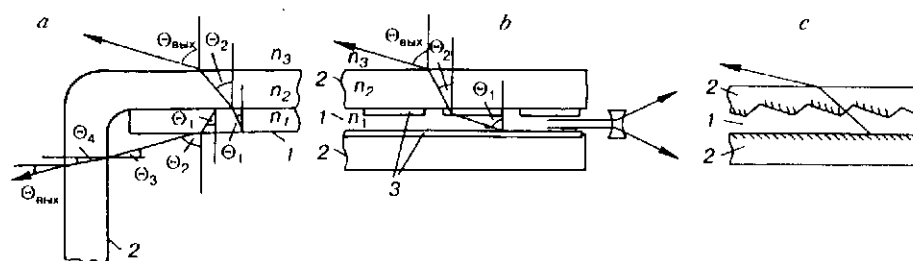


Рис. 2

панелей обычно имеют толщину существенно меньше длины волны света ( $< 0,1$  мкм), поэтому их влияние не будем учитывать. Также не будем принимать во внимание технологические аспекты получения слоев люминофоров. В частности, порошковые люминофоры имеют случайно-неоднородную структуру, вызывающую дополнительное рассеяние люминесцентного излучения. Примем, что слой люминофора однородный и имеет постоянную толщину.

Для определения интенсивности выводимого излучения, которая определяет яркость изображения, использовались формулы Френеля, согласно которым амплитуды параллельной и перпендикулярной компонент  $T_{\parallel, \perp}$  световой волны, прошедшей границу раздела двух диэлектриков с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$ , описываются следующими выражениями [10]:

$$T_{\parallel} = \frac{2n_1 \cos \Theta_i}{n_2 \cos \Theta_i + n_1 \cos \Theta_t} A_{\parallel}, \quad (6)$$

$$T_{\perp} = \frac{2n_1 \cos \Theta_i}{n_1 \cos \Theta_i + n_2 \cos \Theta_t} A_{\perp}, \quad (7)$$

где  $A_{\parallel, \perp}$  – амплитуды соответствующих компонент падающей волны;  $\Theta_{i, t}$  – углы падения и преломления.

Несложная процедура расчета состояла в последовательном применении вышеприведенных формул на каждой границе раздела. Результаты расчета представлены на рис. 3, где показаны графики нормированной суммарной интенсивности поляризационных компонент  $I_{\text{вых}}$  для разного типа дисплеев. Для удобства  $I_{\text{вых}}$  дается в зависимости от величины угла между направлением распространения выходящей

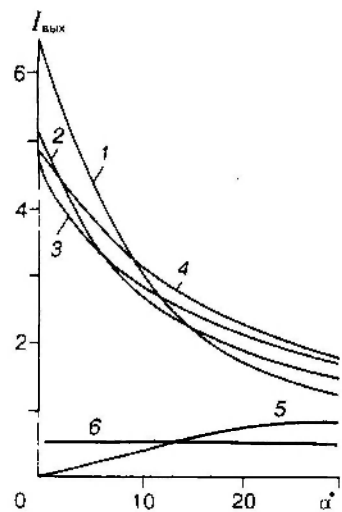


Рис. 3

распространения выходящей волны и светоизлучающей поверхностью дисплеев, т. е. в зависимости от угла  $\alpha = (90^\circ - \Theta_{\text{вых}})$ . Кривые 1 и 2 соответствуют выводу излучения из ЭЛТ через боковую стенку кинескопа, а кривые 3 и 4 – через лицевую и для электролюминесцентной панели. В случаях 1 и 3 люминофор имеет показатель преломления  $n_1 = 3,3$  (например, GaP), а в случаях 2 и 4 –  $n_1 = 2,3$  (ZnS). Кривая 5 представляет аналогичную зависимость для плазменной панели ( $n_1 = 1,0$ ). Как видно из рис. 3, для всех типов дисплеев, исключая плазменную панель, при приближении линии наблюдения к излучающей плоскости интенсивность выходящей световой волны, а следовательно, и видимая яркость излучающего элемента СИМ возрастают. Заметим, что рост интенсивности выходящей свето-

вой волны происходит главным образом за счет роста параллельной компоненты, а перпендикулярная компонента возрастает весьма незначительно. Это хорошо иллюстрирует кривая *b*, представляющая зависимость перпендикулярной компоненты для случая *1*. Разумеется, поток энергии от излучающего элемента не возрастает, а уменьшается, так как его видимые размеры сокращаются пропорционально  $\cos \Theta_{\text{вых}}$ .

Для плазменной панели малая величина интенсивности света, распространяющегося в тангенциальных направлениях, обусловлена большой величиной коэффициента отражения на границе газ – подложка. Поэтому использование обычных плазменных панелей для создания 3D-мониторов едва ли целесообразно. Однако если сделать некоторые конструктивные изменения, например, нанести на внутреннюю поверхность выходной подложки пилообразный рельеф, как это показано на рис. 2, *c*, то их можно также успешно использовать для создания 3D-мониторов. В этом случае угол вхождения световых лучей из газа в подложку будет достаточно велик, а коэффициент отражения на этой границе – достаточно мал (~ 4%). Кроме того, такая конструкция позволяет выполнять электроды из непрозрачных покрытий. Заметим также, что аналогичный рельеф можно применить в ЭЛТ с целью улучшения световой эффективности. При этом люминофор следует наносить только на одну грань рельефа, наклоненную в сторону вывода излучения.

Если невозбужденный газ слабо поглощает генерируемое излучение, то для формирования изображений сечений можно использовать излучение, выходящее из торца панели, а для расширения угла наблюдения изображения – рассеивающую цилиндрическую линзу, как это показано в правой части рис. 2, *b*. Такая конструкция дисплея позволяет наблюдать изображение сечения непосредственно «с торца», что является идеальным вариантом дисплея для рассматриваемого метода горизонтальных сечений. Некоторым недостатком этого дисплея является астигматизм восстановленных элементов разрешения, обусловленный цилиндрической линзой. Влияние этого астигматизма на качество объемного изображения достаточно хорошо исследовано в [5].

**Заключение.** Рассмотрены возможности использования современных стандартных электронных дисплеев в 3D-мониторах, реализующих метод горизонтальных сечений. Показано, что для получения изображений горизонтальных сечений можно использовать тангенциальное излучение известных дисплеев. Причем яркость изображений сечений возрастает при приближении линии наблюдения к светоизлучающей поверхности дисплеев. Показано также, что геометрические размеры (30 × 40 см) и число элементов разрешения (500 × 500) стандартных дисплеев позволяют получать объемные изображения, удовлетворяющие визуальные потребности человека. Однако для устранения дискретной структуры объемного изображения по вертикали ширина строк СИМ должна быть увеличена в 5–6 раз с соответствующим уменьшением их общего числа. Получаемое при этом число отображаемых планов дальности также удовлетворяет визуальные потребности человека.

Таким образом, можно сделать вывод, что современные электронные дисплеи вполне пригодны для создания коммерческого объемного телевидения на основе метода горизонтальных сечений, а основным фактором, сдерживающим его реализацию, является отсутствие дефлекторов оптической кадровой развертки с необходимой апертурой. Для решения этой задачи в [7] рассматриваются вращающиеся дефлекторы света, выполненные в виде

круговых призм Френеля, а в [11] предлагается использование для этой цели небольших дефлекторов, вмонтированных в очки наблюдателей. В [11] показано, что по сравнению с очковым стереотелевидением этот метод имеет ряд преимуществ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якимович А. П. О новом подходе к проблеме объемного телевидения // Техника кино и телевидения. 1978. № 4. С. 58.
2. Васильев Н. А., Компанец И. Н., Якимович А. П. Метод горизонтальных сечений для объемного телевидения // Радиотехника. 1991. № 9. С. 15.
3. Якимович А. П. Способ передачи и восстановления широкоапертурных объемных изображений в методах зондирования сцены // Автометрия. 1993. № 4. С. 83.
4. Якимович А. П. Трехмерные мониторы с горизонтальным сканированием сцены и уменьшенным числом вертикальных ракурсов // Автометрия. 1995. № 3. С. 106.
5. Kompanets I. N., Yakimovich A. P. // SPIE. 1993. 2068. P. 274.
6. Якимович А. П. Пространственное разрешение активной и пассивной трехмерных видеокамер, воспринимающих горизонтальные сечения сцены // Автометрия. 1995. № 4. С. 113.
7. Якимович А. П. Широкоапертурные дефлекторы света для оптической кадровой развертки объемного телевидения // Автометрия. 1995. № 5. С. 51.
8. Goede W. F. // Society for Information Display (SID). San Jose, California, 1994. 1. P. 3.
9. Валуев Н. А. Стереодокументы, стереокино, стереотелевидение. М.: Искусство, 1986.
10. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1977.
11. Якимович А. П. Способ получения «большого экрана» в объемном телевидении // Автометрия. 1998. № 1. С. 116.

*Поступила в редакцию 2 августа 1996 г.*

#### ***К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!***

По вопросам приобретения номеров журнала «Автометрия» прошлых лет обращаться **по адресу:**  
Служба маркетинга. Издательство СО РАН, а/я 187,  
Новосибирск, 630090,  
тел. (3832) 35-47-58, факс (3832) 33-37-55,  
E-mail: denis@ad-sbras.nsc.ru.

Стоимость одного номера журнала, включая почтовые расходы, – 20 руб.