

Воспроизведение многоакурсных телевизионных изображений с помощью жидкокристаллического экрана

Г. В. Мамчев

В статье анализируются конструктивные особенности воспроизводящих устройств автостереоскопического типа и определяются размеры зоны стереовидения многоакурсных изображений.

Ключевые слова: автостереоскопический экран, оптический растр, жидкокристаллическая панель, кодированное стереоизображение, эффект оглядывания, муаровые полосы, размеры зоны видения многоакурсного изображения.

1. Введение

Переход на цифровой стандарт телевизионного вещания позволяет практически реализовать объёмное, то есть трёхмерное телевидение (3D). 3D-телевизоры и дисплеи стереоскопического типа, воспроизводящие левое и правое изображения (стереопару) объектов рассматривания, уже выпускаются рядом крупнейших в области телевизоростроения компаний: Samsung, Panasonic, Sony, JVC и др. Раздельное наблюдение левым и правым глазами зрителей отображаемой стереопары обеспечивается специальными устройствами пространственной селекции, среди множества которых наибольший практический интерес представляют очки из поляроидов и эклипсные (затворного типа) очки, использующие жидкие кристаллы.

Несмотря на сравнительно широкое распространение 3D-телевизоров с очками, данный способ воспроизведения стереоэффекта имеет существенный недостаток – собственно, необходимость телезрителям надевать очки. Это сложно для людей, использующих очки для коррекции зрения, и трудноприменимо в общественных местах. Однако в настоящее время рядом фирм стали выпускаться опытные партии 3D-телевизоров автостереоскопического типа, не требующих очков для наблюдения стереоскопических изображений. Функционирование подобных моделей телевизоров основано на использовании оптического растра лентикулярного типа, состоящего из большого количества миниатюрных цилиндрических линз, расположенных вертикально. Разработка линзово-растровых 3D-устройств началась ещё в прошлом веке, но действительно хорошего стереоэффекта и определённого коммерческого успеха удалось добиться лишь сравнительно недавно с появлением жидкокристаллических экранов высокого разрешения с размером воспроизводимых изображений по диагонали в 1...1,5 м, то есть 39...59 дюймов. Современные воспроизводящие устройства жидкокристаллического типа позволяют одновременно отображать несколько изображений одного и того же объекта, полученных с разных точек зрения, то есть многоакурсные изображения, обеспечивающие эффект оглядывания, тем самым создавая условия рассматривания, наиболее близкие к естественным. В соответствии с классификацией Международного союза элект-

тросвязи, много ракурсные автостереоскопические системы относятся к системам трёхмерного телевидения второго поколения.

В статье анализируются конструктивные особенности безочковых жидкокристаллических телевизоров 3D-типа, обеспечивающих воспроизведение высококачественных много ракурсных изображений. Особое внимание уделено определению размеров зоны стереовидения много ракурсных изображений, знание которых позволит оценить возможность одновременного наблюдения стереоскопических изображений несколькими телезрителями, в случае использования жидкокристаллического телевизора в совокупности с оптическим растром.

2. Конструктивные особенности стереоскопических воспроизводящих устройств жидкокристаллического типа

Телевизионное воспроизводящее устройство автостереоскопического типа представляет собой жидкокристаллический экран, к фронтальной плоскости которого прикреплены цветной светофильтр, состоящий из совокупности чередующихся горизонтальных полосок фильтров основных цветов R , G и B , в сочетании с оптическим растром (рис. 1). В данной конструкции следует обеспечить выполнение следующего условия: плоскость, в которой формируются изображения пикселей жидкокристаллической панели, должна совпадать с фокальной плоскостью вертикальных линз оптического растра. Число однородных, вертикально расположенных цилиндрических линзочек оптического растра выбирается таким, чтобы структура растра не была заметна глазу наблюдателя. Следовательно, оптические растры, предназначенные для применения в стереотелевизионных устройствах стандартного разрешения, должны в горизонтальном направлении содержать не менее 800 линзочек. При отображении стереотелевизионных изображений высокого разрешения число цилиндрических линз оптического растра должно соответствовать стандарту телевидения высокой чёткости (ТВЧ), то есть быть равным 1920.

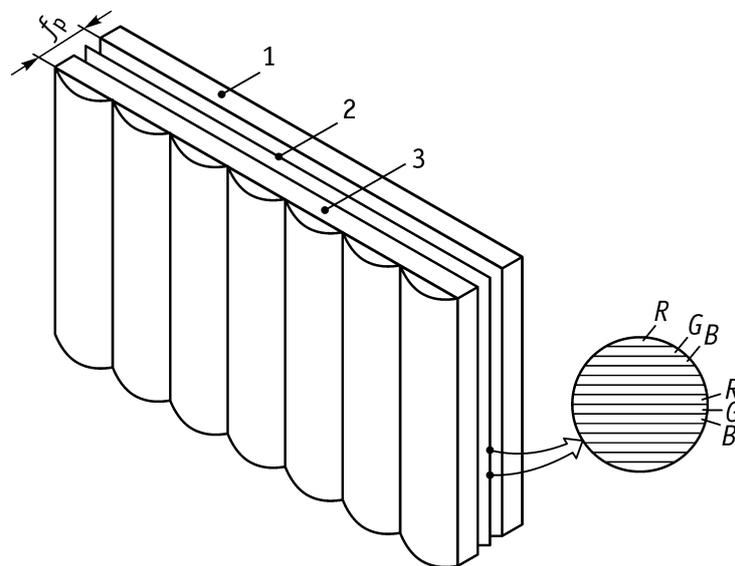


Рис. 1. Конструкция телевизионного воспроизводящего устройства автостереоскопического типа

1 – жидкокристаллический экран; 2 – цветной светофильтр; 3 – оптический растр;
 f_p – фокусное расстояние растра

Зрители непосредственно через оптический растр рассматривают сформированное на передающей стороне телевизионной системы с помощью компьютерной программы Octopus

Multiview Editor кодированное стереоизображение, составленное из чередующихся двух или нескольких штриховых изображений разных ракурсов объекта [1]. Причём под каждой вертикально расположенной линзой оптического растра, работающей как миниатюрная проекционная система, оказывается совокупность воспроизводимых вертикальных полос (штрихов): каждая от изображения соответствующего ракурса.

Световые лучи от всех элементов (штрихов) воспроизведённого кодированного изображения каждого ракурса, проходя через оптический растр, собираются в определённой точке схода, в которой и образуется зона видения изображения данного ракурса (рис. 2).

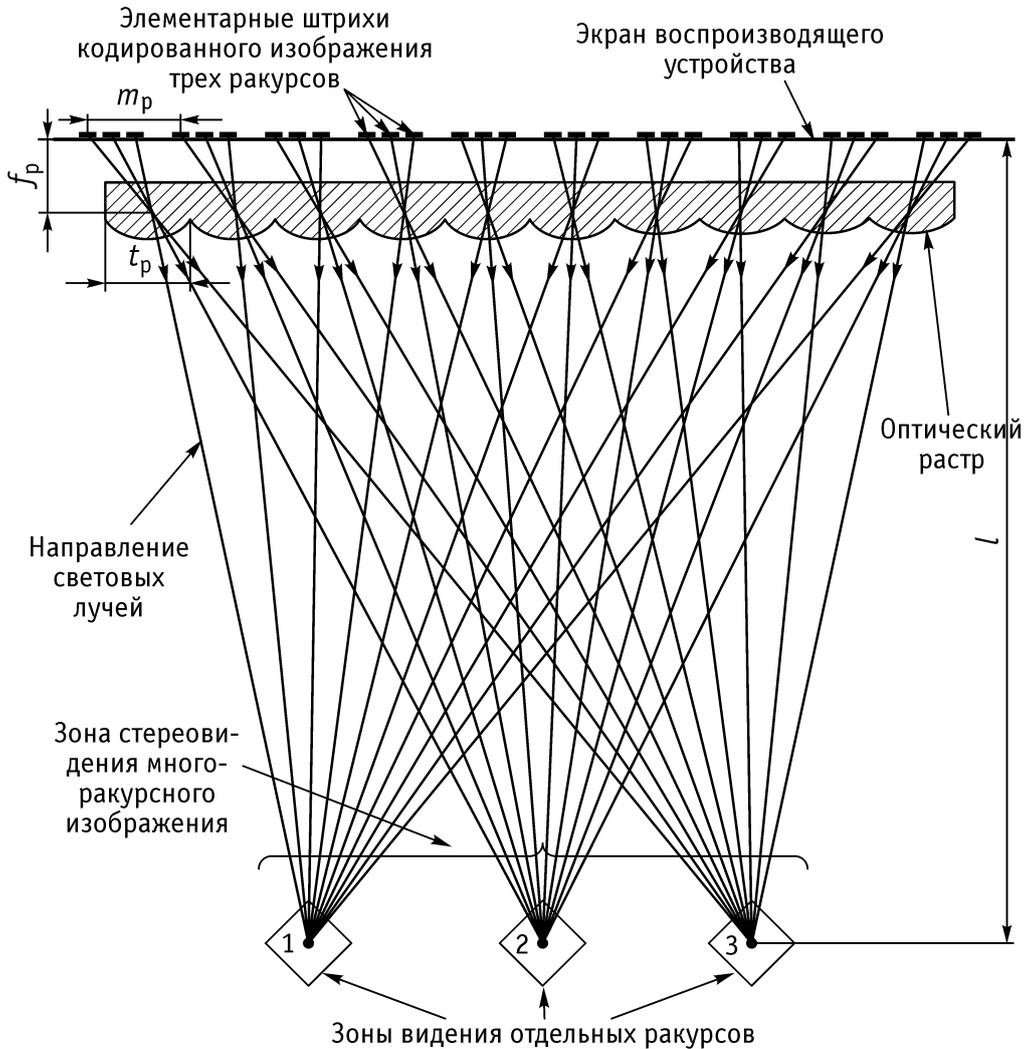


Рис. 2. Оптическая схема пространственного разделения изображений трёх ракурсов с помощью оптического растра

Поскольку глаза наблюдателя расположены на расстоянии глазного базиса друг от друга, в среднем равного 65 мм, то один глаз будет наблюдать изображение, сформированное из одной группы пикселей, а другой – изображение из второй группы. При перемещении головы относительно экрана влево или вправо воспринимаемые наблюдателем пары изображений, формируемых различными группами пикселей, будут чередоваться, обеспечивая тем самым эффект оглядывания. Связь между расстоянием рассматривания стереоизображения от стереоэкрана и его параметрами определяется следующим выражением:

$$l = f_p \frac{n_1 t_p + m_p n_2 - t_p n_2}{n_2 m_p - t_p} ,$$

где n_1 – показатель преломления воздуха; n_2 – показатель преломления материала оптического раstra; t_p – шаг оптического раstra; m_p – расстояние между элементарными штрихами кодированного изображения одного ракурса.

При использовании типового жидкокристаллического устройства для воспроизведения телевизионных изображений двух ракурсов каждая вертикальная линза правильно подобранного раstra, совмещённого с фронтальной поверхностью экрана, будет прикрывать два столбца пикселей (шесть столбцов субпикселей, так как каждый пиксель представляет собой совокупность трёх субпикселей основных цветов R , G и B). Это приводит к тому, что зона видения одного ракурса будет представлять совокупность трёх пространственно разнесённых субзон, в каждой из которых возможно восприятие только одного из трёх цветоделённых изображений рассматриваемого ракурса объекта. В этом случае не будет выполняться пространственное смешение цветов и зрители смогут воспринимать только цветоделённые изображения отдельных ракурсов. Следовательно, в стереотелевизионных устройствах необходимо применять специально разработанные жидкокристаллические экраны с горизонтальным расположением чередующихся полосок цветных фильтров основных цветов, то есть с вертикальным чередованием субпикселей основных цветов (см. рис. 1). Если на участке жидкокристаллического экрана, находящимся под одной линзой лентокулярного раstra, будет размещено несколько субпикселей, то, рассматривая стереоэкран под различными углами, наблюдатели будут видеть разные группы субпикселей, каждая из которых образует отдельное изображение. Применение стандартной жидкокристаллической панели, производящей 1920 пикселей (5760 субпикселей) по горизонтали и 1080 пикселей по вертикали позволяет отобразить 6 ракурсов объекта с разрешением 960 пикселей по горизонтали и 360 цветных пикселей по вертикали. Для воспроизведения большего количества изображений разных ракурсов с более высоким качеством требуется в разы увеличить разрешающую способность жидкокристаллических панелей.

Появление жидкокристаллических телевизоров с более высокой разрешающей способностью по сравнению со стандартом ТВЧ ожидается уже в самом ближайшем будущем. Например, японский производитель электроники Sharp и телерадиовещательная корпорация NHK разработали первый в мире телевизор стандарта Super Hi-Vision с ультравысоким разрешением изображения 7680×4220 пикселей. Это в 16 раз выше чёткости изображения стандарта Full HD, обусловленной воспроизведением 1920×1080 пикселей. Использование жидкокристаллического экрана с разрешением Super Hi-Vision в стереотелевизионном устройстве позволяет воспроизводить 12-ракурсное стереоизображение с 1920 пикселями по горизонтали или 24-ракурсные изображения с горизонтальным разрешением в 960 пикселей. При этом по вертикали будет отображаться 1440 цветных пикселей.

В то же время в стереосистемах нецелесообразно использование оптических растров в сочетании с плазменными панелями, поскольку в последних имеются физические ограничения на формирование ячеек (пикселей) малых размеров, соизмеримых с шириной штрихов кодированного стереоизображения, что не позволяет воспроизводить многоракурсные изображения с высоким разрешением.

Особо следует отметить, что наблюдение стереоизображений в многоракурсных системах с растровым стереоэкраном возможно только при правильном совмещении оптического раstra со структурой жидкокристаллической матрицы. При неточной юстировке стереоэкрана (непараллельное совмещение цилиндрических линз с вертикальной осью жидкокристаллической матрицы, фактически совпадающей с направлением элементарных штрихов кодированного стереоизображения), а также при значительном различии между параметрами t_p и m_p будет возникать явление муара в результате интерференции пространственных частот структур кодированного изображения и оптического раstra. Проявление муаровой картины

приводит к ухудшению качества наблюдаемого стереоизображения, а в некоторых случаях может даже нарушить восприятие стереоэффекта.

Вследствие этого представляется очень важным установить допуск на несовмещение цилиндрических линз оптического растра с вертикальной осью жидкокристаллической матрицы, при котором муаровая картина не будет приводить к заметному ухудшению качества стереоизображений. Для этого рассмотрим схему образования муара при непараллельном совмещении линз оптического растра с элементарными штрихами кодированного стереоизображения, которая представлена на рис. 3.

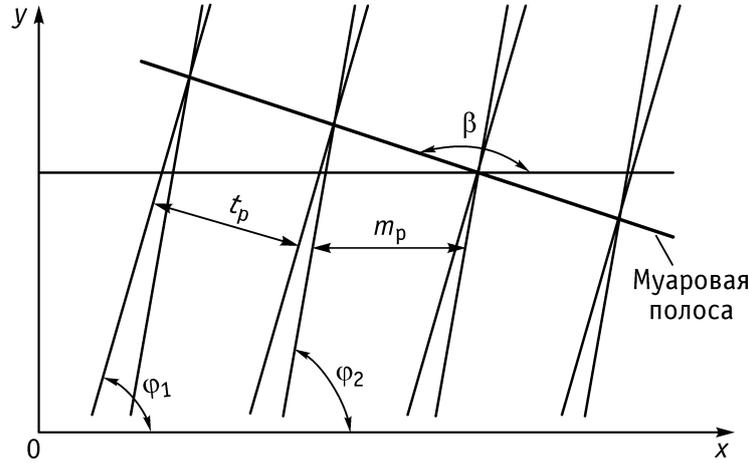


Рис. 3. Схема образования муара при непараллельном совмещении цилиндрических линз с вертикальной осью жидкокристаллической матрицы

Картина муаровых полос представляет в этом случае семейство параллельных прямых, равнонаклонённых к оси x , совпадающей с горизонтальной границей стереоэкрана, под углом β [2].

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{t_p \sin \varphi_2 - m_p \sin \varphi_1}{t_p \cos \varphi_2 - m_p \cos \varphi_1},$$

где φ_1 , φ_2 – соответственно углы наклона линз оптического растра и элементарных штрихов кодированного изображения одного ракурса по отношению к оси x .

В этом случае расстояние (p) между всеми муаровыми полосами одинаково и определяется следующим соотношением

$$p = \frac{t_p m_p}{\sqrt{t_p^2 + m_p^2 - 2t_p m_p \cos \varphi_1 - \varphi_2}}.$$

Так как углы φ_1 и φ_2 в общем случае отличаются мало, то

$$\cos \varphi_1 - \varphi_2 \approx 1 - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2},$$

тогда

$$p = \frac{\sqrt{t_p m_p}}{\sqrt{\frac{t_p - m_p}{t_p m_p} + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}}}.$$

Муаровая картина при непараллельном совмещении линз оптического растра со структурой кодированного стереоизображения будет незаметна в том случае, если расстояние между муаровыми полосами будет превышать высоту стереоэкрана h , то есть $p > h$. В стереотелевизионных устройствах величина шага оптического растра выбирается из условия незаметности структуры растра для зрителя, то есть $t_p \approx h/z$, где z – число пикселей, воспроизводимых по вертикали стереоизображения. При этом допустимое значение $(\varphi_1 - \varphi_2)$ определяется соотношением $(\varphi_1 - \varphi_2) \leq 1/z$. Расчёты показывают, что муаровая картина будет практически незаметна зрителям, если угол рассовмещения линз оптического растра со штриховой структурой кодированного стереоизображения $(\varphi_1 - \varphi_2)$ не будет превышать $4'$. Найденная допустимая величина $(\varphi_1 - \varphi_2)$ является допуском на точность юстировки автостереоскопического экрана.

При $\varphi_1 = \varphi_2$ муаровая картина будет также возникать в случае значительного различия численных значений параметров t_p и m_p , причём муаровые полосы располагаются параллельно направляющим вертикальных линз оптического растра. При этом расстояние между муаровыми полосами определяется выражением

$$p = \frac{t_p m_p}{m_p - t_p} .$$

Примем, что $t_p = t_p + \Delta$. Определим величину Δ , в пределах которой может отличаться шаг оптического растра в стереоэкране при незаметности муаровой картины зрителям. Причём условием незаметности муаровой картины в данном случае является $p > b$, где b – ширина стереоэкрана. В этом случае $\Delta \leq m_p / (k_\phi z - 1)$, где k_ϕ – формат кадра стереоизображения. Фактически допустимое значение Δ оценивается соотношением $\Delta \leq 0,001 t_p$, что является допуском на точность изготовления вертикальных линз оптического растра.

3. Определение размеров зоны стереовидения многоракурсных изображений

Особенность растрового способа селекции в том, что наблюдение стереоэффекта возможно только из определённых зон стереовидения, находящихся в месте пересечения световых лучей, идущих от всех штрихов кодированного изображения отдельных ракурсов. Зона видения одного ракурса в горизонтальной плоскости с геометрической точки зрения представляет собой неправильный ромб $C_0 F_0 \Gamma_0 B_0$ (рис. 4). Из рис. 4 следует, что ширина зоны видения изображения одного ракурса g определяется соотношением:

$$g = e_{шт} \cdot l - f_p / f_p \approx e_{шт} l / f_p , \text{ так как } l \gg f_p .$$

Причём ширина элементарных штрихов кодированного стереоизображения $e_{шт}$ в конечном счёте зависит от разрешающей способности жидкокристаллической панели. В угловом измерении ширина зоны видения изображения одного ракурса $\Delta\varphi$ определяется выражением (см. рис. 4):

$$\Delta\varphi \approx 2 \arctg g / 2l .$$

В любом случае ширина зоны видения одного ракурса g не должна превосходить величины глазного базиса b_0 , так как рядом с зоной видения для одного глаза на расстоянии, не превышающем 65 мм, необходимо расположить зону видения для другого глаза, при этом зоны не должны перекрываться.

В вертикальной плоскости относительно стереоэкрана зона видения представляет собой призму, основанием которой служит ромб $C_0 F_0 \Gamma_0 B_0$, а высота этой призмы определяется све-

тоизлучающими свойствами жидкокристаллической матрицы в вертикальном направлении. Практически высота зоны видения изображения одного ракурса равна 2...3 м.

Глубина зоны видения изображения одного ракурса A_3 определяется соотношением:

$$A_3 \approx 2gl/b.$$

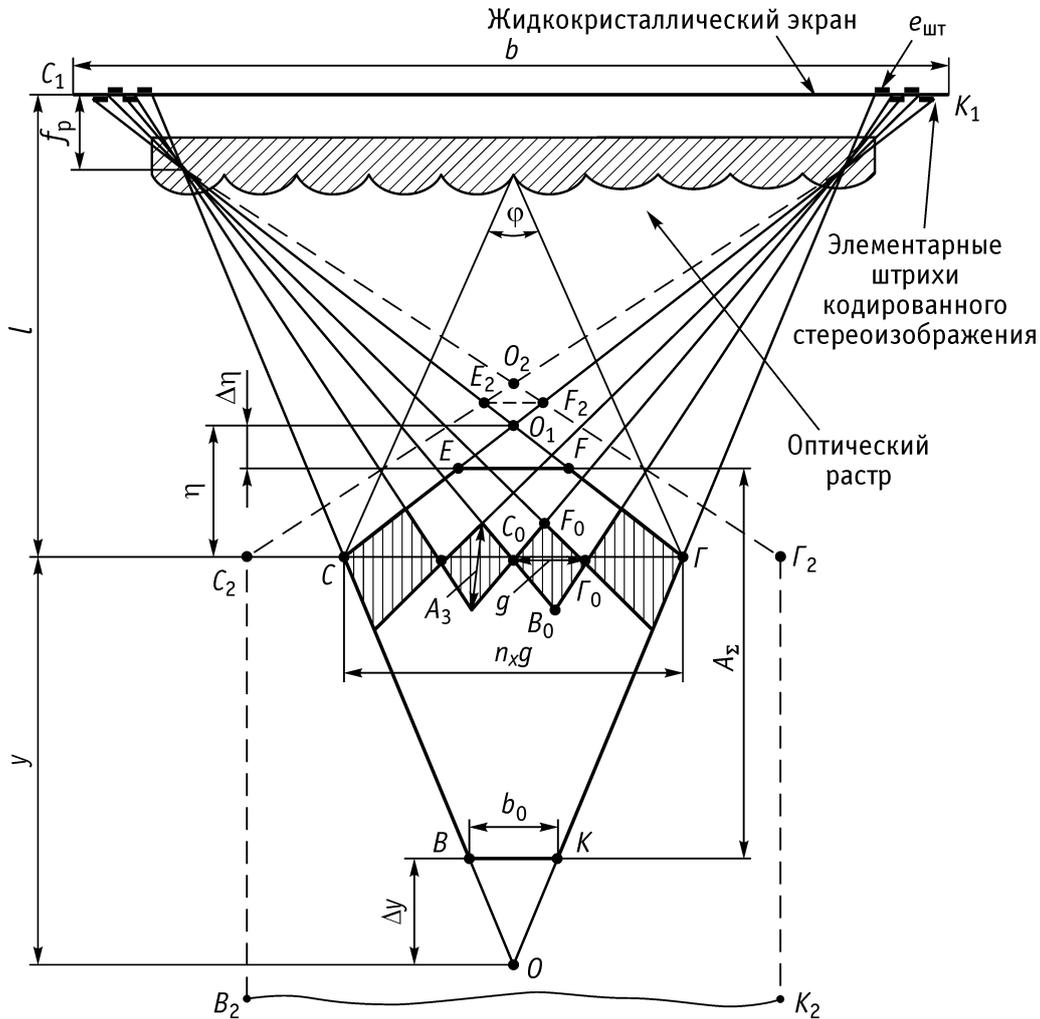


Рис. 4. Построение зоны стереовидения многоракурсного изображения

b_0 – глазной базис

Для определения размеров зоны стереовидения многоракурсных изображений достаточно рассмотреть случай пересечения световых лучей, идущих только от крайних штрихов кодированного изображения, соответствующих различным ракурсам. По форме в горизонтальном сечении зона стереовидения представляет собой неправильный шестиугольник $BCEFGK$. Из рис. 4 следует, что ширина зоны стереовидения многоракурсного изображения g_Σ определяется произведением ширины зоны видения одного изображения g на число воспроизводимых изображений различных ракурсов n_x , то есть

$$g_\Sigma = gn_x. \quad (1)$$

В угловом измерении ширина зоны стереовидения многоракурсного изображения описывается следующим соотношением:

$$\varphi = \Delta\varphi n_x = 2 \left(\operatorname{arctg} \frac{g}{2l} \right) n_x.$$

Высота зоны стереовидения много ракурсного изображения равна высоте зоны видения изображения одного ракурса. Анализируя рис. 4, можно определить глубину зоны стереовидения много ракурсного изображения A_Σ , которая позволяет установить возможность расположения нескольких зрителей в пределах одной зоны стереовидения

$$A_\Sigma \approx 7,5b^2 n_x g - b_0 / b^2 - n_x^2 g^2. \quad (2)$$

Более наглядное представление о возможности одновременного наблюдения стереоизображений из зоны стереовидения много ракурсного изображения несколькими зрителями может дать численный расчёт размеров зоны. Для определения примерных размеров зоны стереовидения много ракурсного изображения рассмотрим численный расчёт g_Σ и A_Σ для одного частного случая. Пусть $b = 1300$ мм, $g = 65$ мм, $b_0 = 65$ мм, $n_x = 10$, тогда в соответствии с выражениями (1) и (2) $g_\Sigma = 0,65$ м, а $A_\Sigma = 5,84$ м. Результаты расчёта позволяют сделать вывод о том, что размеры зоны стереовидения много ракурсного изображения, формируемой оптическим растром, позволяют одновременно нескольким зрителям наблюдать стереоизображения. При этом зрители в пределах зоны стереовидения имеют возможность изменить свою позицию наблюдения, то есть оглядывать воспроизводимый стереоустройством пространственный образ физических объектов.

В силу селективирующих свойств оптического раstra в пространстве перед автостереоскопическим экраном происходит повторение зоны видения изображения каждого ракурса (рис. 5). Повторение зон видения в пространстве перед стереоэкраном объясняется тем, что световые лучи от каждого элементарного штриха кодированного стереоизображения одновременно проходят через несколько соседних линз оптического раstra. Из рис. 5 следует, что $T = t_p l + f_p / f_p$, где T – расстояние между соседними зонами стереовидения, которое должно быть всегда больше удвоенной величины глазного базиса, то есть $T > 130$ мм.

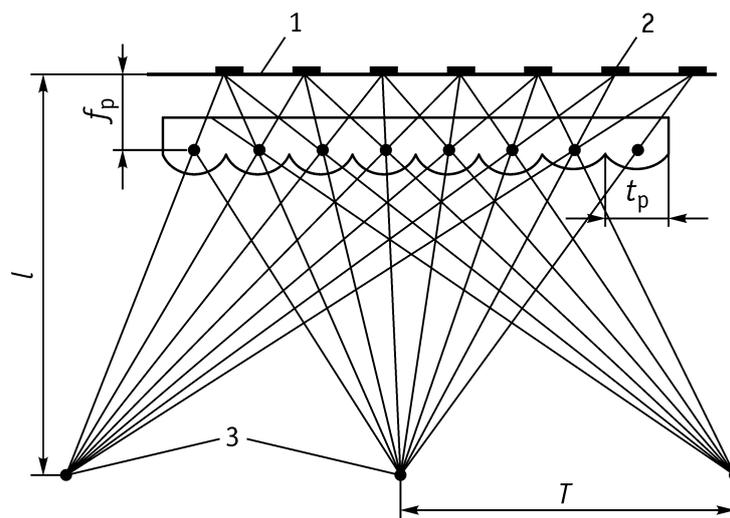


Рис. 5. Схема образования нескольких зон видения оптическим растром

1 – экран воспроизводящего жидкокристаллического устройства; 2 – элементарные штрихи кодированного стереоизображения; 3 – зоны видения изображения каждого ракурса

Таким образом, использование воспроизводящего телевизионного устройства автостереоскопического типа даёт возможность наблюдения многокурсных изображений из нескольких зон стереовидения одновременно небольшой группе телезрителей.

4. Заключение

В данной статье доказана возможность отображения многокурсных телевизионных изображений с воспроизведением эффекта оглядывания жидкокристаллическим экраном с вертикальным чередованием субпикселей основных цветов в сочетании с лентикулярным оптическим растром. Сформулированы требования к юстировке цилиндрических линз оптического раstra относительно структуры кодированного стереоизображения, обеспечивающей незаметность муаровых полос. На основе выполненных расчетов размеров зоны стереовидения, формируемых автостереоскопическим экраном, показана возможность одновременного рассматривания многокурсных изображений с восприятием эффекта оглядывания несколькими наблюдателями (в пределах 10 человек).

Литература

1. Асмаков С. 3D-дисплеи: воплощение мечты // Компьютер Пресс. 2004. № 8. С. 80-81.
2. Мамчев Г.В. Стереоскопическое телевидение: Монография / СибГУТИ. – Новосибирск, 2011. – 98 с.

Статья поступила в редакцию 28.03.2012

Мамчев Геннадий Владимирович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиовещания и телевидения СибГУТИ

тел. (383) 269-82-62, e-mail: mamtchev@sibsutis.ru

Reproduction of Multiangle Television Images with the Help of Liquid Crystal Screen

G.V. Mamtchev

Constructional peculiarities of autostereoscopic displays are analyzed in this article. Dimensions of multiangle image stereovision zones are determined.

Keywords: autostereoscopic screen, optical raster, liquid crystal panel, coding stereoimage, observation effect, moire stripes, dimensions of stereovision multiangle image zones.