

СТЕРЕОБАЗИС (от греч. stereós — телесный, объёмный и basis — основание) — расстояние между двумя точками, одновременное наблюдение из к-рых одного и того же объекта даёт *стереоскопическое изображение* этого объекта. Для человеческого зрения С. — расстояние между передними узловыми точками глаз (колеблется от 58 до 72 мм).

Для повышения остроты бинокулярного зрения при рассматривании, напр., удалённых предметов, или *стереопар*, применяются оптич. приборы (призмённые или зеркальные), искусственно увеличивающие глазной С. (см. *Стереотруба*, *Стереоскоп*). С увеличением С. уменьшается глубина резко воспринимаемого пространства, но увеличивается острота зрения, поэтому С. выбирается с учётом оптич. сечения этих критериев.

Л. А. Рижкин.

СТЕРЕОПАРА — сочетание двух плоских частичных изображений одного и того же объекта, полученных с двух разных точек зрения или в двух цветах (см. *Анаглифов метод*). При рассматривании С. так, чтобы каждый глаз видел только одно из этих изображений, возникает объёмная (стереоскопич.) картина, воспроизводящая глубину реального объекта, — *стереоскопическое изображение*. С. используют для создания пространственных изображений объектов в стереокино, стереофотографии, при стереофотограмметрич. съёмке.

Л. А. Рижкин.

СТЕРЕОСКОП — бинокулярный оптич. прибор для раздельного наблюдения правым и левым глазом соответственно своего частичного изображения стереопары, обеспечивающий оптич. совмещение этих изображений для получения единого зрительного образа, обладающего стереоскопичностью (см. *Стереоскопическое изображение*). В зависимости от конструкции различают С. щелевые, линзовые, зеркальные и комбинированные.

СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ — пространственное (объёмное) зрение, обуславливающее возникновение трёхмерного зрительного образа наблюдаемого объекта за счёт параллаксирования, оглядывания объекта с разных сторон в предметном пространстве. При бинокулярном наблюдении в предметном пространстве к.-л. точки А (рис. 1) её изображения в правом

рующих точках сетчаток, к-рые соответственно в правом и левом глазу находятся на одинаковых расстояниях от центр. ямок (напр., дуга $A_{\text{П}}B_{\text{П}}$ равна дуге $A_{\text{Л}}B_{\text{Л}}$ и $A_{\text{П}}C_{\text{П}} = A_{\text{Л}}C_{\text{Л}}$). Идентичные изображения, получаемые на корреспондирующих точках, всегда сливаются в единый образ. Изображения точек, расположенных ближе или дальше горютера, получаются на несоответственных точках сетчаток глаз, что является сигналом мозгу для ощущения разноудалённости этих точек предмета от глаз. В естеств. условиях при переводе взгляда на разноудалённые предметы горютер непрерывно перестраивается. Несовпадение (диспаратность) изображений разноудалённых точек предмета на сетчатках глаз тем больше, чем больше разность угл. параллакс фиксированной точки А и одновременно наблюдаемых точек В', С' и т. д. Значения разностей этих параллакс $\alpha - \beta$ или $\alpha - \gamma$ наз. дифференциальными угловыми параллаксами $\Delta\alpha$. Мин. диспаратность, к-рую человек способен ощутить, определяет величину предельного угла дифференц. параллакса $\Delta\alpha_0$ (остроту зрения). Эта величина является порогом стереовосприятия, к-рый у разных лиц различен, но обычно не превосходит 30". От него зависит разрешающая способность восприятия изображения по глубине. Наим. величина Δr различения разноудалённости точек предмета определяется след. отношением:

$$\Delta r = r_0^2 \Delta\alpha_0 / (b_0 \pm r_0 \Delta\alpha_0),$$

где r_0 — удалённость от зрителя фиксированной точки; b_0 — межзрачковый стереобазис у наблюдателя (≈ 65 мм); знак плюс в знаменателе относится к точкам, расположенным ближе фиксированной, знак минус — к точкам, дальше фиксированной.

На произвольном расстоянии r разрешающая сила С. з. равна:

$$W(r) = 1/\Delta r \approx b_0/r^2 \Delta\alpha_0.$$

Если b_0 и r выражены в м, а $\Delta\alpha_0$ — в радианах, то $W(r)$ имеет размерность м^{-1} и определяет кол-во раздельно различимых планов на глубине пространства в 1 м, удалённого от наблюдателя на расстояние r . Так, при $\Delta\alpha_0 = 30''$ (0,000145 рад) и $b_0 = 65$ мм:

$$W(r) = 450/r^2 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

Из этого выражения следует, что на расстоянии $r = 10$ м можно различить 4,5 глубинного плана на протяжённости 1 м, т. е. глубинное разрешение составляет 22 см, а на расстоянии $r = 2$ м разрешающая сила С. з. равна 112,5 плана/м и, следовательно, глубинное разрешение уже не превышает 0,9 см.

Объём информации, даваемой С. з., можно оценить кол-вом различимых планов N на глубине рассматриваемого пространства на расстоянии от r_1 до r_2 , к-рый определяется как

$$|N|_{r_1}^{r_2} = \sum_{r_1}^{r_2} b_0 \Delta r / \Delta\alpha_0 r^2. \quad (1)$$

Заменяя суммирование интегрированием, имеем

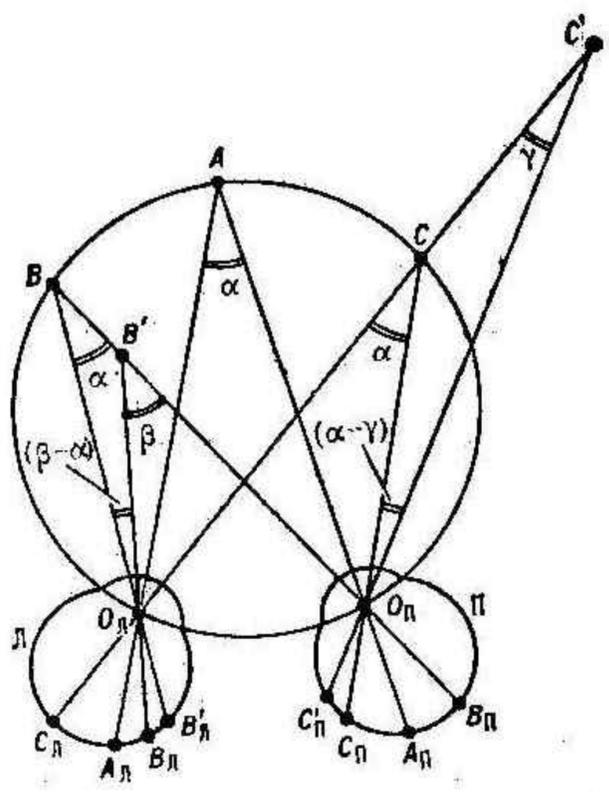
$$|N|_{r_1}^{r_2} = (b_0/\Delta\alpha_0)(1/r_1 - 1/r_2). \quad (2)$$

При наблюдении объекта через бинокулярные зрительные приборы или проекц. системы разрешающая сила С. з. растёт пропорционально действующему стереобазису B и эфф. увеличению оптическому прибору Γ :

$$W^*(r) = B\Gamma/\Delta\alpha_0 r^2.$$

Предельное расстояние, начиная с к-рого уже нельзя в естеств. условиях стереоскопически различить

Рис. 1. Схема бинокулярного стереоскопического зрения.



и левом глазу (соответственно $A_{\text{П}}$ и $A_{\text{Л}}$) попадают на центр. ямки сетчатки, а визирные оси глаз при этом образуют угл. параллакс α . Все точки предметного пространства (В, С и т. д.), видимые с таким же угл. параллаксом, лежат на окружности, проходящей через фиксированную точку А и узловые точки глаз $O_{\text{П}}$ и $O_{\text{Л}}$, и наз. горютером. Изображения точек предмета, лежащих на горютере, рисуются на т. н. корреспонди-

удалённость объектов, наз. радиусом стереовидения, равным

$$r_{\infty} = b_0 / \Delta\alpha_0 \quad (3)$$

Для лиц, обладающих остротой зрения в $30''$, $r_{\infty} \sim 450$ м.

Однако при наблюдении стереоскопического изображения зритель постоянно фиксирует взглядом плоскость совмещённой стереопары изображений (на экране), к-рая в этом случае представляется частью стационарного (неперестраивающегося) горюптера, в связи с этим r_{∞} ограничивается расстоянием:

$$r_{\infty}^* = b_0 / (\omega_0 + d/r_0),$$

где ω_0 — предельный угол разрешения глаза, d — действующий диаметр зрачка глаза.

В этом случае глубинная протяжённость стереоскопически наблюдаемого образа ограничивается максимально допустимым углом, в пределах к-рого возможно слияние (фузия) наблюдаемых изображений стереопары. Этот угол ϕ наз. фузионным, его величина составляет $1,6^\circ - 2,0^\circ$. Границы глубины пространства, в к-ром может существовать слитный пространственный образ, зависят от расстояния рассматривания и удалены от экрана на расстояния $\Delta r_1 = \phi r_0^2 / (b_0 + \phi r_0)$ перед экраном и $\Delta r_2 = \phi r_0^2 / (b_0 - \phi r_0)$ за экраном (рис. 2). Из графика видно, что на более удалённых экранах

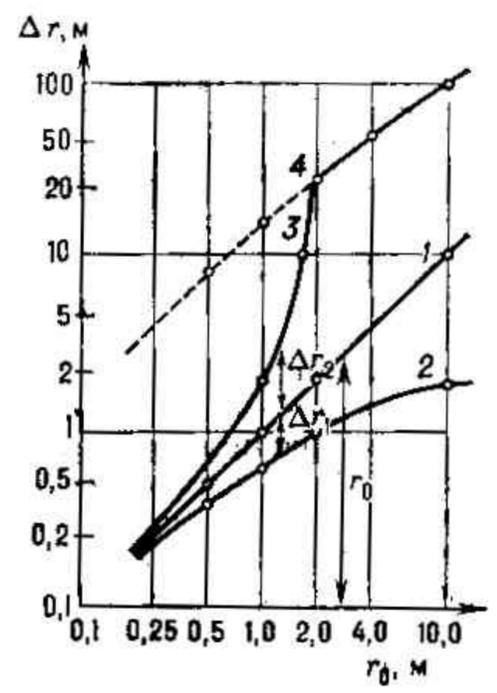


Рис. 2. Диапазон глубины стереоскопически реализуемого пространства относительно экрана в зависимости от расстояния наблюдателя до экрана: 1 — плоскость экрана; 2 — граница стереопространства перед экраном; 3 — граница стереопространства за экраном; 4 — радиус действия стереоскрена.

возможно реализовать более широкие по глубине зоны стереоскопич. видения. Так, на экране, удалённом от зрителя на 10 м, можно наблюдать протяжённость пространственного изображения в зоне от 1,8 до 90 м; при рассматривании стереофотографий с расстояния 25 см воспроизводимое пространство ограничено лишь глубиной зоны ~ 6 см. Однако это не означает, что кол-во различных по глубине планов на более удалённых экранах будет больше. Кол-во различных планов в данном случае может быть определено по соотношениям (1) и (2), в к-рых величина $\Delta\alpha_0$ должна быть заменена величиной ϵ , представляющей отношение величины разрешения экрана к расстоянию его от зрителя.

При наблюдении пространства предметов движущимся наблюдателем (напр., из окна вагона) возникает динамический стереоэффект, обусловленный параллаксированием этого пространства. Динамич. стереоэффект проявляется и при монокулярном зрении; он основан на инерционности зрения: слияние пар стереоскопич. изображений в зрительном аппарате человека возможно и при одновременном их возникновении через интервалы Δt , не превышающие время инерции зрения. Если, напр., наблюдатель движется слева направо, фиксируя взором предмет A , удалённый на расстояние r_A , и скорость его движения v , то за интервал времени $\Delta t_{\text{п}}$, равный времени инерции зрения, точ-

ка наблюдения переместится на величину базиса $B = v\Delta t_{\text{п}}$. Прямую, параллельную пути следования наблюдателя и проходящую через точку A , можно наз. динамическим монокулярным горюптером — по аналогии с горюптером бикулярного зрения. При слежении за точкой A глаз поворачивается таким образом, что изображение точки A всё время находится на центр. ямке сетчатки. На своих местах сетчатки остаются и все изображения предметов, расположенные на горюптере. Однако изображения предметов, находящихся ближе и дальше горюптера, перемещаются по сетчатке. Благодаря этому наблюдателю кажется, что более близкие предметы перемещаются назад относительно точки A , а более удалённые предметы обгоняют точку A в направлении его движения. И вся видимая наблюдателем панорама представляется как бы вращающейся вокруг фиксируемой точки A по часовой стрелке (для направления движения наблюдателя слева направо). Пороговые величины различения глубины пространства в данном случае зависят от скорости перемещения наблюдателя и определяются соотношением

$$\Delta r^{**} = r_A^2 / (v\Delta t_{\text{п}} \pm r_A \alpha_0),$$

где знак плюс используется для порога глубины в сторону от точки A к наблюдателю, знак минус — в сторону за неё.

Радиус действия динамич. стереоэффекта r_{∞}^{**} аналогично (3) может быть определён величиной:

$$r_{\infty}^{**} = v\Delta t_{\text{п}} / \alpha_0.$$

При больших скоростях движения наблюдателя, напр. при $v = 10$ м/с (36 км/ч), $\Delta t_{\text{п}} = 0,1$ с, $\alpha_0 = 0,0003$ (1 угл. мин), величина r_{∞}^{**} составляет 3300 м, намного превышая радиус бикулярного стереовосприятия.

Динамич. стереоэффект важен и для различения глубины пространства на близких расстояниях при малых скоростях перемещения точек зрения наблюдателя относительно объекта. (Примером этого является вдевание иглы в ушко иголки; боковое оглядывание иглы то одним, то другим глазом позволяет облегчить пространственное совмещение ушка с концом иглы.)

Лит.: Кравков С. В., Глаз и его работа, 4 изд., М.-Л., 1950; Вальс Н. А., Стереоскопия, М., 1962; его же, Стереоскопия, кино, телевидение, М., 1986; Логвиненко А. Д., Зрительное восприятие пространства, М., 1981.

Н. А. Вальс.

СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ (пространственное изображение) — изображение предмета, к-рое представляется наблюдателю объёмным (трёхмерным), передающим форму изображаемых объектов, характер их поверхности, взаимное расположение в пространстве и др. внеш. признаки. Возникает С. и. в сознании человека в результате слияния в единый зрительный образ двух плоских изображений *стереопары*, рассматриваемых отдельно каждым глазом.

Каждое из двух изображений стереопары представляет собой центр. проекцию объекта (полученную, напр., фотографированием) с правой и левой точек зрения, разнесённых по горизонтали на нек-рое расстояние, называемое *стереобазисом*. Изображение объекта, полученное с правой точки, должно рассматриваться правым глазом, а изображение, полученное с левой точки, — левым глазом. Простейшим прибором для такого рассматривания является *стереоскоп*. Т. к. правое и левое изображения стереопары представляют собой разные ракурсы объекта, то при оптич. наложении друг на друга они совмещаются не полностью, изображения разноудалённых точек объекта оказываются смещёнными вправо или влево относительно друг друга, образуя горизонтальный линейный параллакс. Величина параллакса зависит от удалённости наблюдаемой точки изображения. Если точка правого изображения в плоскости совмещения оказывается правее

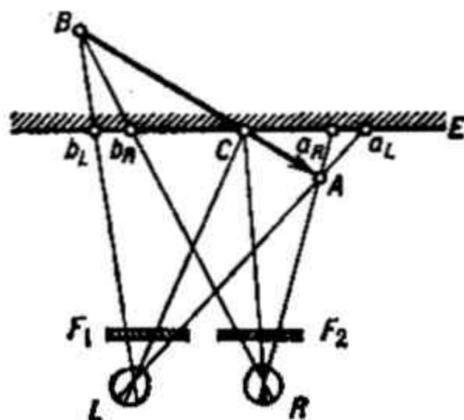
левого изображения этой точки, то параллакс считается положительным и пространственное положение слитного образа этой точки в С. и. будет представляться расположенным за плоскостью совмещения; если точка правого изображения расположена левее точки левого изображения, то параллакс считается отрицательным и слитное изображение точки оказывается перед плоскостью совмещения; при параллаксе, равном нулю, слитный образ формируется в плоскости совмещения.

Оптич. наложение правого и левого изображений стереопары друг на друга осуществляется селективной проекцией или печатью этих изображений, позволяющими в то же время посредством спец. фильтров выделять каждое изображение из их «смеси» для предъявления его предназначенному глазу. В зависимости от способов фильтрации изображений различают следующие способы воссоздания С. и.: очковые — анаглифический, поляризационный, эклипсный; безочковые (растровые) — одностереопарные и многоракурсные.

Очковые методы наблюдения стереоскопического изображения

В анаглифическом методе воспроизведения С. и. (рис. 1) используется спектральная сепарация изображений стереопары. В этом случае одно из изображений стереопары, напр. правое $a_R b_R$, печатается

Рис. 1. Анаглифическая система синтеза пространственного образа АВ при рассмотрении на экране Е изображений стереопары $a_R b_R$ и $a_L b_L$, соответственно правым R и левым L глазами через сепарирующие очки с цветными фильтрами F_1, F_2 .



на экране E красной краской, а левое изображение $a_L b_L$, налагаясь на красное, печатается зелёной краской. Тогда, рассматривая изображения через цветные очки, левым глазом L через красный светофильтр F_1 увидим тёмный силуэт зелёного изображения $a_L b_L$, а правым глазом R через зелёный светофильтр увидим тёмный силуэт только красного изображения $a_R b_R$. Слитный образ точек a_R и a_L , соответственно фиксируемых правым R и левым L глазом, будет виден на пересечении линий их визирования в точке A перед экраном E . Аналогично визуальное слияние точек b_R и b_L , видимых правым и левым глазом, создаёт образ точки B , лежащей за экраном E . Т. о., точки A и B окажутся пространственно разнесены. Этот метод легко реализуется и широко используется для получения С. и. в полиграфии, кино, телевидении, однако он не позволяет воспроизводить цветные объёмные изображения (см. также *Анаглифов метод*).

Поляризационный метод может быть использован для проекц. воспроизведения цветных С. и. Левое и правое изображения стереопары проецируются на экран лучами поляризов. света с плоскостями поляризации, ориентированными взаимно перпендикулярно для правого и для левого изображений. В качестве экрана служат недеполяризующие свет металлизированные поверхности или матированные прозрачные листы. Рассматривают изображения на экране через очки с поляризац. светофильтрами, при этом плоскости поляризации светофильтров, находящихся перед правым и левым глазом, ориентируют соответственно параллельно плоскостям поляризации лучей, проецирующих правое и левое изображения стереопары. Этот метод применяется для реализации стереокино.

Эклипсный метод использует временную фильтрацию (поочерёдное рассматривание) правого и левого изображений стереопары. Правое и левое изображения в чередующемся порядке проецируются на экран

и вместе с этим синхронно перед правым и левым глазом открываются и закрываются заслонки в очках, через к-рые зритель поочерёдно видит правым глазом правое изображение стереопары, левым глазом — левое изображение. Недостатком этого метода являются мерцания С. и., заметные при малой частоте ($\lesssim 100$ Гц) смены правых и левых кадров на экране. Однако и при малой частоте смены кадров (вплоть до единицы Гц) стереоэффект сохраняется, и поэтому метод находит применение в тех случаях, когда этим недостатком можно пренебречь, в частности в рентгенотехнике.

При решении практич. задач возможно комбинирование систем воспроизведения С. и. Такой симбиоз эклипсного метода с поляризац. методом предложен для реализации стереоскопич. телевидения. В данном случае (рис. 2) на экране 2 телевизора 1 последовательно во времени экспонируются правые и левые изображения стереопары, а наблюдение С. и. ведётся через поляризац. очки 8 со взаимно перпендикулярно ориентированными плоскостями поляризации фильтров F_1 и F_2 . Перед экраном телевизора устанавливается управляемый транспарант, состоящий из листа поляроида

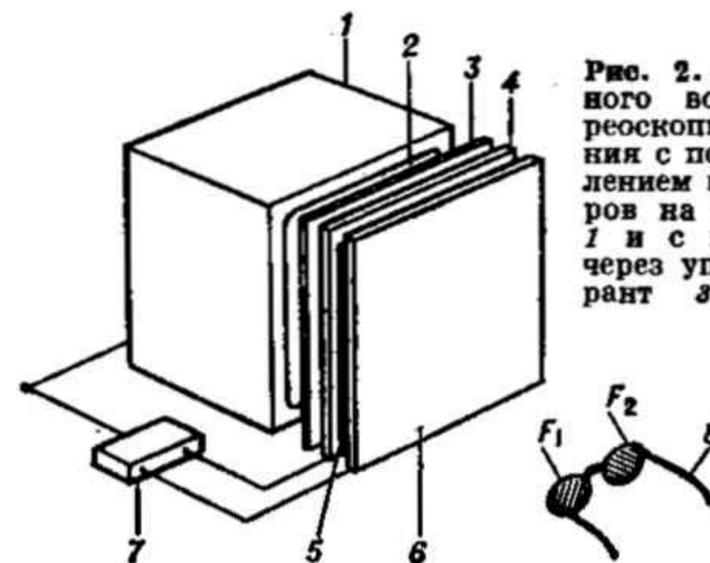


Рис. 2. Система телевизионного воспроизведения стереоскопического изображения с поочерёдным предъявлением правых и левых кадров на экране 2 телевизора 1 и с их рассматриванием через управляемый транспарант 3—6 и поляроидные очки 8.

3 и жидкокристаллич. модулятора света, выполненного из двух прозрачных проводящих пластин 4 и 6, между к-рыми расположен парафазный жидкокристаллич. слой 5. При подаче от коммутатора 7 электрич. управляющих импульсов к пластинам 4 и 6 происходят повороты плоскости поляризации лучей, проходящих через транспарант, на 90° то в одну, то в др. сторону. В те временные интервалы, когда та или иная фаза поляризации совпадает с экспозицией соответственно правых или левых кадров С. и. на экране телевизора, через поляроидные фильтры F_1 и F_2 очков можно попеременно видеть правым глазом последовательно только правых кадров стереопары, а левым глазом — только левых кадров. Это обеспечивает зрительное восприятие пространственного образа С. и. на телевиз. экране.

Безочковые методы воспроизведения стереоскопического изображения

В таких методах для сепарации правого и левого изображений стереопары используют растровые оптические системы, создающие перед экраном зоны избират. видения, из к-рых правым и левым глазом можно увидеть отдельно соответствующие изображения стереопары. Этот принцип автостереоскопии пояснён на рис. 3. Если перед фотопластинкой E укрепить щелевой растр F и с некого расстояния из точки A_0 спроецировать через растр на фотопластинку одно из изображений стереопары, напр. левое, то после проявления пластинки можно будет увидеть это растрированное изображение (обозначенное на рис. чёрными точками), наблюдая через тот же растр из положений A_0, A_1, A_2 и т. д., лежащих на прямой YY' . Области A_0, A_1, A_2, \dots можно назвать зонами избират. видения левого изображения. Одновременно с левым изображением стереопары можно напечатать на фотоплёнке E правое изображение, проецируя его из

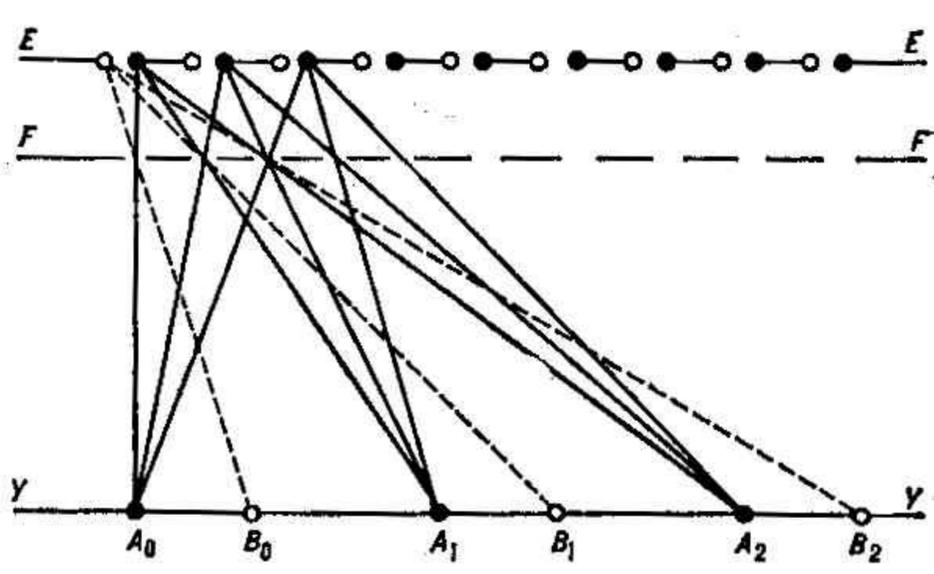


Рис. 3. Принцип автостереоскопического воспроизведения пространственных изображений через щелевой растр F .

точки B_0 , лежащей на прямой YU и сдвинутой вправо от точки A_0 на величину межзрачкового базиса. Элементы этого изображения, отмеченные на EE белыми кружочками, будут видны соответственно из зон избират. видения правого изображения B_0, B_1, B_2, \dots . Наблюдать слитное С. и. в данном случае можно свободно из каждой пары зон A_0B_0, A_1B_1, A_2B_2 и т. д.

Показ автостереоскопич. изображения для большой аудитории может осуществляться с помощью радиального растрового стереоэкрана, называемого также перспективным (рис. 4). Особенностью стереоэкрана является то, что плоскость экрана E и плоскость щелевого растра F , расположенного

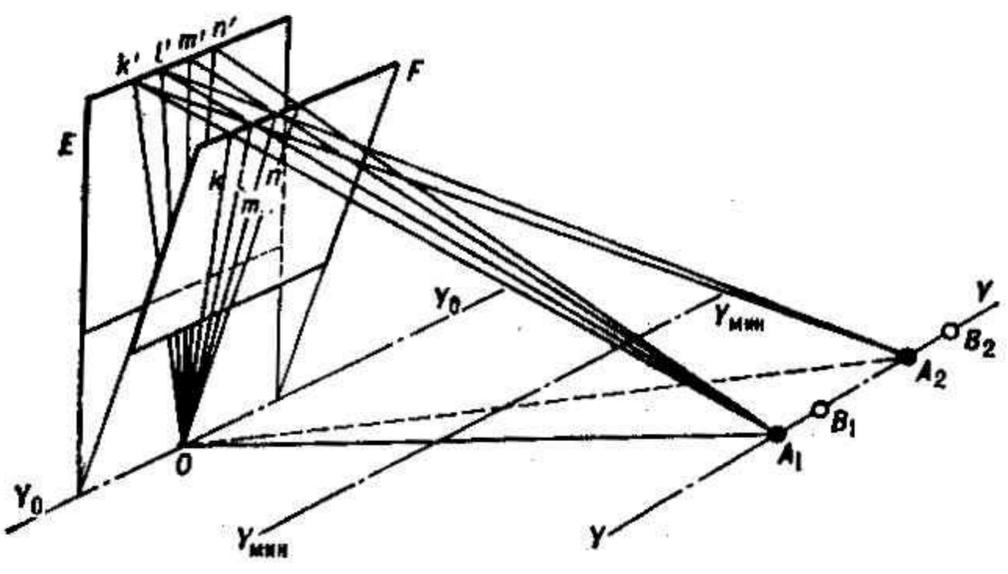


Рис. 4. Система проекционного воспроизведения стереоскопического изображения для безочкового (автостереоскопического) наблюдения пространственного изображения на радиальном растровом экране одновременно многими зрителями.

перед ним, наклонены друг к другу под небольшим углом, так что в своём продолжении они пересекаются по горизонтальной прямой Y_0Y_0' . Щели растра направлены радиально к центру O , лежащему на прямой Y_0Y_0' . Если из какой-либо точки A_0 направить на экран E световой пучок, то свет, проходящий через щели растра k, l, m, n , образует на экране E картину полос k', l', m', n' , также радиально сходящихся к центру O . Световые плоскости, проходящие через щели растра, пересекаются по прямой OA_1 , из каждой точки k -рой можно увидеть через все щели освещённый экран, т. е. эта прямая представляет собой фокальную линию избирательного видения. Если период следования щели у растра в его сечениях, параллельных прямой Y_0Y_0' , постоянен, то такими же линиями избират. видения являются и прямые OB_1, OB_2, OB_3 , образуемые световыми лучами, отражёнными от освещённых полос экрана, напр. от полосы Ok' через соседние щели растра Ol, Om, On, \dots . Точки A_1, A_2, A_3 и др. располагаются на прямой YU , параллельной Y_0Y_0' и проходящей через точку A_1 .

Проецируя из др. точки B_1 , расположенной на прямой YU , на экран др. пучок света, можно создать новую серию линий избират. видения $OB_1, OB_2,$

OB_3 и т. д., расположенных в одной плоскости с линиями OA_i . Все линии избират. видения образуют плоскость, называемую плоскостью избирательного видения.

Проецируя на экран из точки A_1 правое, а из точки B_1 левое изображение стереопары, можно создать в плоскости OYU' условия для раздельного видения правого и левого изображений избирательно правым и левым глазом соответственно из зон OA_i и OB_i .

Очевидно, заменяя щели растра F цилиндрич. (конич.) линзами, можно сузить световые полосы от источника света на экране за растром и таким образом повысить разрешающую способность стереоэкрана. Благодаря этому на линзово-растровый стереоэкран с линии YU можно проецировать не одну пару ракурсов (стереопару), а большое число ракурсов объекта, сфотографированных с горизонтального ряда точек (напр., точек 1, 2, 3, 4, ...), сдвинутых так, чтобы точка 2 была левее 1, точка 3 левее 2, точка 4 левее 3 и т. д. В этом случае в плоскости избират. видения OYU' образуются смежно расположенные зоны, из любой пары k -рых можно наблюдать на экране С. и., рассматривая его в разных ракурсах.

Реализация такого рода многоракурсного С. и. возможна в разл. системах отображения визуальной информации, и в частности на экране электронно-лучевой трубки прибора (рис. 5). Электронный прожектор 1 проецирует через растр-решётку G на люминесцентный экран E изображение объекта, видимое с левой точки; про-

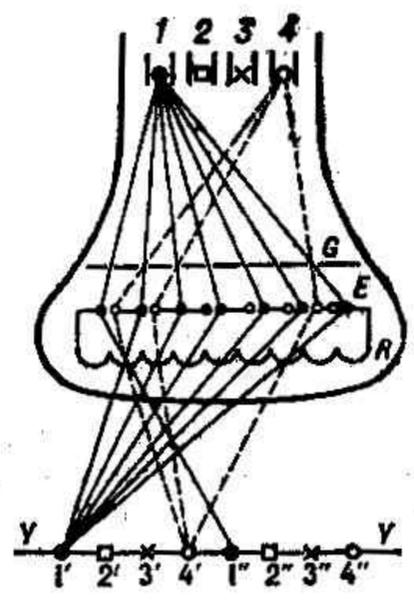
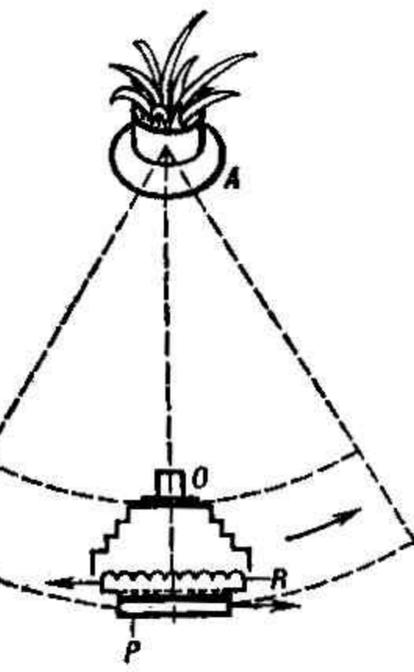


Рис. 5. Схема автостереоскопического формирования многоракурсного пространственного изображения на экране электронно-лучевой трубки, наблюдаемого через линзовый растр.

жектор 2 проецирует изображение, соответствующее правой точке; прожектор 3 — ещё более правой точке; прожектор 4 — крайней правой точке. Электронные лучи от каждого прожектора, проходя через узкие щели решётки G , падают на разл. участки экрана E , вызывая свечение своего растрового изображения. Так, напр., лучи от прожектора 1 вызывают свечение участков экрана, обозначенных на рис. 5 чёрными кружками, а от прожектора 4 — светлыми кружками. Установленный с др. стороны экрана линзовый растр R собирает излучение от точек экрана, освещённых прожектором 1, в зону $1'$, от прожектора 2 — в зону $2'$, прожектора 3 — в зону $3'$, прожектора 4 — в зону $4'$. Вдоль оси YU образуются зоны избират. видения смежных ракурсов объекта, из любой пары k -рых можно наблюдать пространственный образ объекта. Вдоль оси YU образуются также дополнит. зоны избират. видения $1''-4'', 1'''-4'''$ и др., позволяющие наблюдать С. и. одноврем. многим зрителям.

Подобный метод используется при изготовлении многоракурсных полиграфич. С. и., рассматривае-

Рис. 6. Панорамная съёмка параллактограммы многоракурсных стереоизображений непрерывно движущейся фотокамерой на фотоматериал через линзовый растр.



ных через склеенный с отпечатком линзовый растр. При этом объект фотографируют с разных сторон фотокамерой, движущейся вокруг него (рис. 6). Съёмка ведётся на фотоматериал P , прикрытый линзовым растром R и, в свою очередь, сдвигаемый во время съёмки на величину периода (шага) линзового растра, для того чтобы распределить на фотоматериале раздельную запись последоват. ракурсов в виде кодированных дорожек. (Создаётся т. н. параллакс-грамма, стереоскопически считываемая через декодирующий линзовый растр.)

Дальнейшим развитием многоракурсных С. и. является интегральная фотография, позволяющая записывать изменение ракурсов объекта одновременно, как в горизонтальном направлении, так и в вертикальном (см. *Растровые оптические системы*).

Наиб. существ. отличие многоракурсных С. и. от одностереопарных является то, что первые создают более комфортные условия для наблюдения объёмного изображения и сохраняют неизменность пространственных соотношений картины при относит. перемещениях наблюдателя, тогда как при наблюдении одностереопарного С. и. глубина и форма наблюдаемой картины меняются в зависимости от дистанции и местоположения наблюдателя.

Лит.: Власенко В. И., Полиграфическое производство стереоизображений с линзовым растром, М., 1978; Мамчев Г. В., Стереотелевидение, М., 1982; Валуся Н. А., Стерео: фотография, кино, телевидение, М., 1986; Дудников Ю. А., Рожков В. К., Растровые системы для получения объёмных изображений, Л., 1986; Касс К., Касс А., Практическая стереофотография, Минск, 1987. Н. А. Валуся.

Стереоскопическое изображение компьютерное

Появление персонального компьютера, снабжённого сканером и высококачественным принтером (размер точки $1/300$ дюйма), позволило конструировать компьютерные стереокарточки и стереослайды (аналогичные обычным стереофотографиям и стереослайдам) и создавать объёмные компьютерные копии реальных объектов. Однако это возможно только в том случае, когда известна трёхмерная структура объекта или сцены, С. и. к-рых надо построить.

Примером объекта с известной структурой является любая макромолекула (молекула белка, нуклеиновой кислоты и т. п.), пространственная форма и размеры к-рой известны (обычно их находят методами рентгеновского структурного анализа). Для построения С. и. молекул выбирают такую систему координат, начало отсчёта к-рой находится в центре тяжести молекулы (заранее найденном), ось X проходит горизонтально (параллельно прямой, соединяющей зрачки глаз наблюдателя), ось Z проходит вдоль направления наблюдения, а ось Y перпендикулярна им обеим. В этой системе отсчёта атом с координатами x, y, z будет виден левым глазом так, как если бы он находился в плоскости в точке с координатами

$$x_1 = (x-d)L/(L-z),$$

$$y_1 = yL/(L-z),$$

где L — расстояние до центра молекулы, d — расстояние между зрачками; соответственно для правого глаза:

$$x_2 = (x+d)L/(L-z).$$

Поэтому одним из вариантов построения стереопары на мониторе компьютера будет изображение левой и правой точек u_L, v и u_P, v :

$$u_L = x_0 + R + mx_1,$$

$$u_P = x_0 - R + mx_2,$$

$$v = y_0 - my_1,$$

где x_0, y_0 — координаты центра монитора, R — расстояние между правой и левой половинами стереопары, m — масштабный фактор, определяющий размер С. и.

Если построена последовательность компьютерных стереопар, то на мониторе компьютера можно наблюдать стереофильмы (невооружённым глазом либо с помощью стереоскопа).

Возможность построить стереопару по картине или рисунку художника зависит от того, использовались ли художником законы перспективы [1]. Если на рисунке, выполненном с использованием прямой перспективы, ясно видна точка перспективы, можно найти предполагаемые пространственные координаты всех точек С. и. При построении стереопары пейзажа можно отд. объекты пейзажа вынести в разные параллельные плоскости, в разл. степени удалённые от зрителя.

На рис. 7 приведена компьютерная стереопара, построенная по картине В. А. Серова «Ида Рубинштейн».

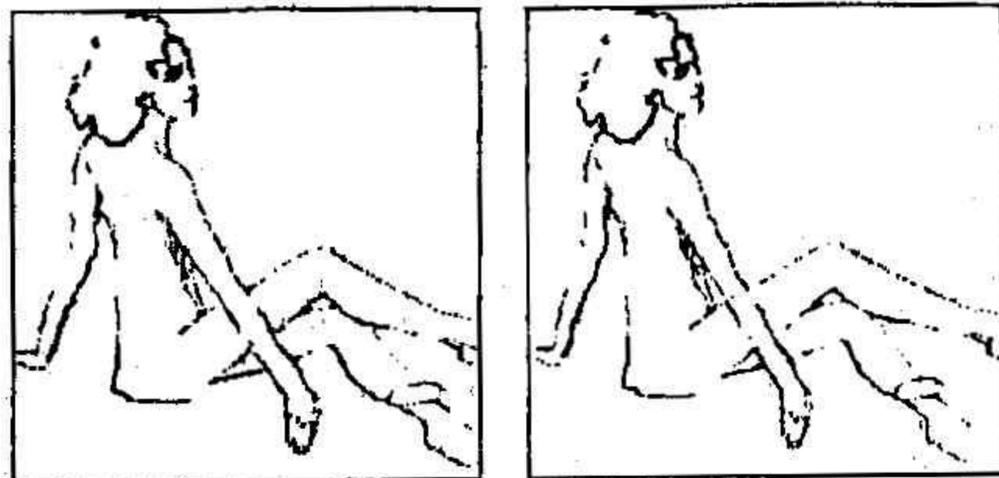


Рис. 7.

Построение С. и. невидимого. В окружающем мире имеется целый ряд измеряемых, но не видимых человеческим глазом физ. величин, пространственное распределение к-рых часто необходимо знать в практич. целях. К таким величинам относятся, напр., интенсивность гамма-излучения естественных или техногенных радиоактивных веществ, абс. значения вредных атомарных или молекулярных примесей в загрязнённом воздухе, воде и т. д., распределение темп-ры, влажности воздуха и т. п. Компьютеры позволяют визуализировать измеренные величины, в частности построить для них условные С. и. Большое значение трёхмерная визуализация имеет в разл. мед. диагностиках, в частности в ЯМР-, рентгеновской и ультразвуковой томографии.

Восстановление трёхмерной сцены по стереопаре. Наряду с построением стереопар иногда необходимо решить обратную задачу — провести анализ оцифрованной фотостереопары для получения информации об изображённой на ней трёхмерной сцене [2]. Это бывает необходимо, напр., для дистанц. определения рельефа поверхности Земли или др. планеты, морского дна, для автономной навигации передвигающегося робота. Осн. идея всех подходов к этой задаче — найти соответствующие (гомологичные) точки на левой и правой половинах стереопары и по расстоянию между этими точками определить локальную глубину данной точки в изображении сцены. Для решения этой задачи было предложено много алгоритмов [3]. Однако задача эта очень сложна и, по-видимому, ещё далека от решения: анализ стереопары предполагает наличие в памяти ЭВМ весьма обширных знаний о мире, без к-рых расшифровка стереопары в общем случае маловероятна.

При построении системы анализа стереопар очень важно уменьшить число элементов изображения — для облегчения нахождения соответствующих точек. Как правило, в прикладных задачах оказывается, что анализировать необходимо не всю информацию, содержащуюся в стереопаре, а лишь небольшую её часть. В ряде случаев, напр., особый интерес представляют сведения о прямых линиях, в частности о вертикаль-

ных прямых (это относится ко многим сооружениям — зданиям, заводам, улицам, дорогам и т. п.).

Если для восстановления трёхмерной структуры объекта или сцены по стереопаре нужно найти не слишком большое число гомологичных точек, то компьютер только помогает человеку, к-рый отмечает ряд важных пар точек-гомологов на фотостереопаре, выведенной на экран компьютера. Более подробно вопросы С. и. см. в [3].

Лит.: 1) Мочалов Л. В., Пространство мира и пространство картины, М., 1983; 2) Поджио Т., Зрение человека и технические системы видения, «В мире науки», 1984, № 6, с. 58; 3) Веденов А. А., Математика стереоизображений, М., 1991.

СТЕРЕОТРУБА — бинокулярный стереоскопич. прибор, состоящий из двух зрительных труб на шарнирной оси; обеспечивает получение стереоскопического изображения (изображение прямое, увеличение оптическое $\sim 10-20$). С. применяют в военном деле.

РАСТРОВАЯ ОПТИКА — область оптики, рассматривающая законы формирования и преобразования дискретизованных растровыми оптическими системами изображений, содержащих многомерную информацию.

Н. А. Валюс.

РАСТРОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ — класс оптич. систем, составным элементом к-рых является растр. Наличие раstra образует в системе множество входных и выходных зрачков, смежно расположенных и действующих совместно в формировании оптич. изображения. Такие системы обладают рядом специфич. свойств, таких, как множащее, интегрирующее, анализирующее.

Простейшую Р. о. с. представляет комбинация раstra R и установленного за ним диффузно отражающего экрана E (рис. 1). Элементы раstra — отверстия или линзы — создают на экране множество более или менее совершенных изображений объекта. Это — первичное множачее свойство Р. о. с. Обратный ход лучей от изображений, полученных на экране,

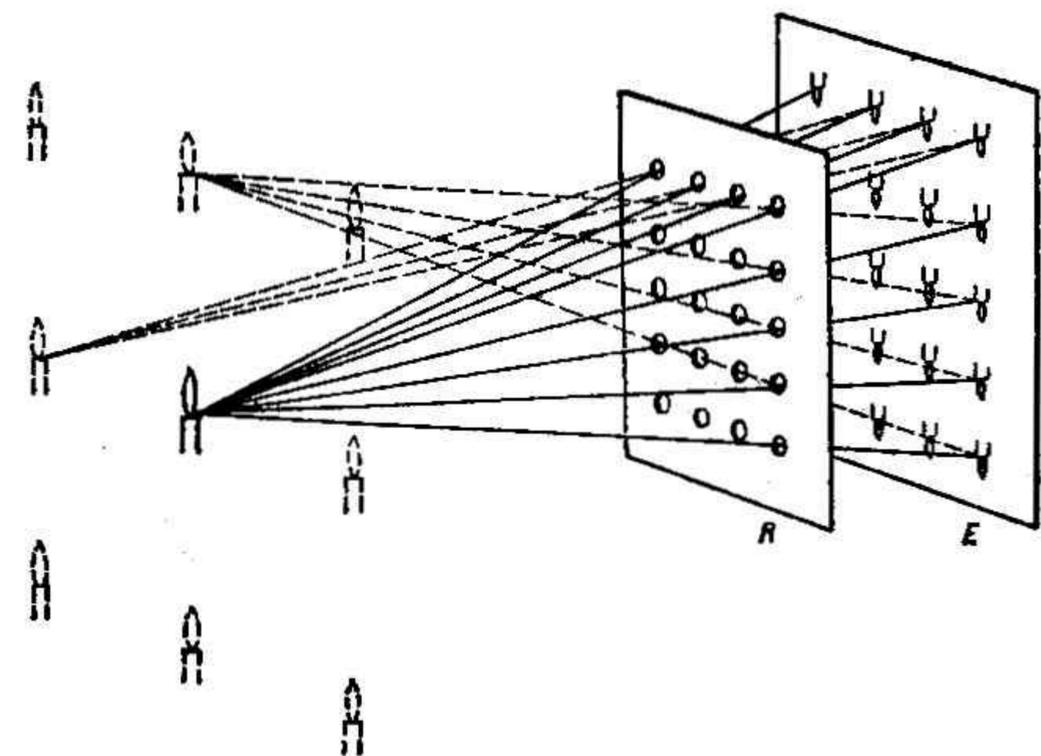


Рис. 1. Простейшая растровая оптическая система: R — растр, E — экран.

восстанавливает естеств. форму объекта в предметном пространстве. Синтезирование целостного пространственного образа объекта лучами от каждого элементарного изображения представляет интегрирующее свойство Р. о. с. В предметном пространстве восстанавливается не одно изображение, а множество ему подобных — это вторичное множачее свойство Р. о. с.

Осн. свойства Р. о. с. наиб. полно проявляются при формировании пространственных изображений в интегральной фотографии, являющейся как бы лучевым аналогом голографии. На первой стадии получают интегральное изображение объекта AB (рис. 2) через

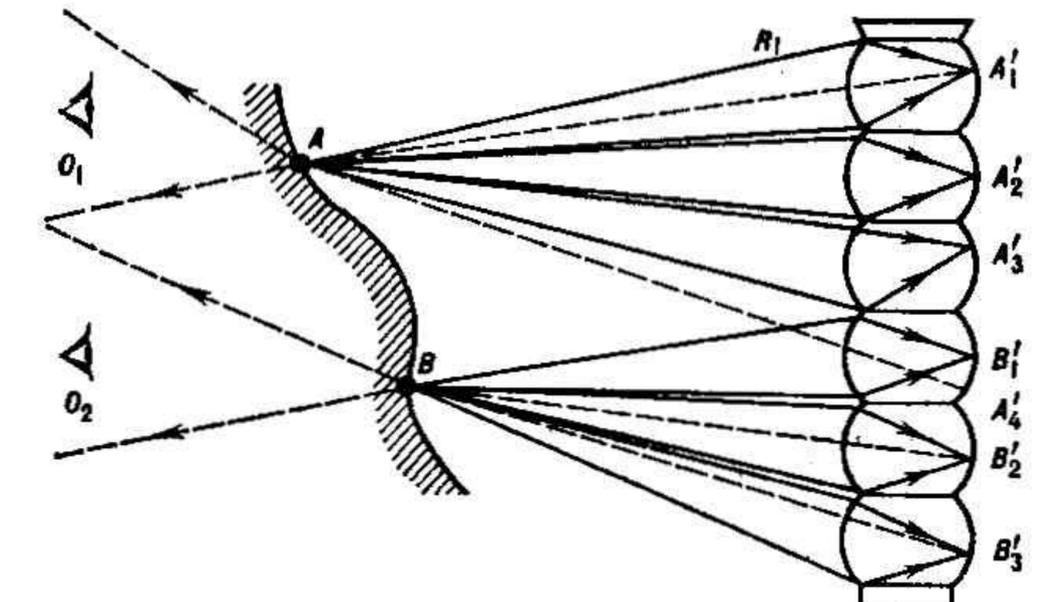


Рис. 2. Получение интегрального изображения объекта AB с помощью ячеистого раstra R_1 .

ячеистый (линзовый) растр R_1 , элементы которого выполнены в виде цилиндров с передними сферич. основаниями, фокусирующими изображения объекта на противоположных сторонах этих цилиндров, покрытых с наружной стороны фотоэмульсией. При съёмке на слое фотоэмульсии образуется большое число микроизображений объекта в виде матрицы, наз. аспектrogramмой. Эти изображения $A_1' B_1', A_2' B_2'$ и т. д. не совсем идентичны, они фиксируют объект с несколь-

ко разных точек зрения и поэтому различаются параллактич. сдвигами разноудалённых точек объекта. Если осветить полученную на растре матрицу изображений с тыльной стороны, то обратный ход лучей через линзы раstra воссоздаёт действительное изображение трёхмерного объекта в предметном пространстве. Разноудалённые точки объекта AB можно увидеть на продолжении лучей от точек A, B из положений O_1, O_2 и т. д. Однако наблюдаемая пространственная картина объекта при этом оказывается инвертной (с вывернутым рельефом) — выступающие детали объекта углублены, и наоборот. Получение правильного рельефа пространственного изображения осуществляется во второй стадии процесса оптич. перекопирования микроизображений аспектрограммы через линзы первого раstra R_1 на аналогичный второй растр R_2 , как это показано в верх. части рис. 3. За линзами раstra R_2

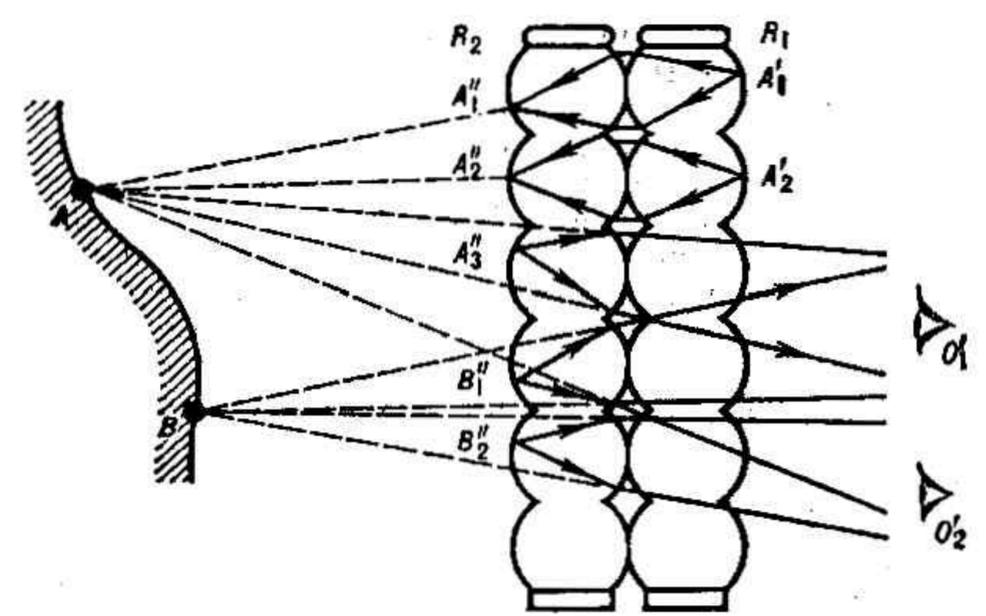


Рис. 3. Оптическое перекопирование микроизображений аспектрограммы.

получается обращённая аспектрограмма с микроизображениями $A_1'' B_1'', A_2'' B_2'', \dots$, рассматривая к-рую через этот растр после удаления от него раstra R_1 , как это показано на ниж. части рис. 3, можно увидеть из точек O_1', O_2', \dots мнимое пространственное изображение объекта AB с уже правильно восстановленным рельефом. Ячеистый растр здесь применяется для разграничения полей микроизображений, регистрируемых на аспектрограмме.

Разделение полей микроизображений во время записи (съёмки) аспектрограммы можно осуществить также с помощью полевой диафрагмы, ограничивающей поле зрения растровой системы в предметном пространстве. Такой диафрагмой может являться входной зрачок объектива, работающего совместно с Р. о. с. Рис. 4 иллюстрирует принцип работы Р. о. с. при записи многомерной информации об объекте AB через растр.

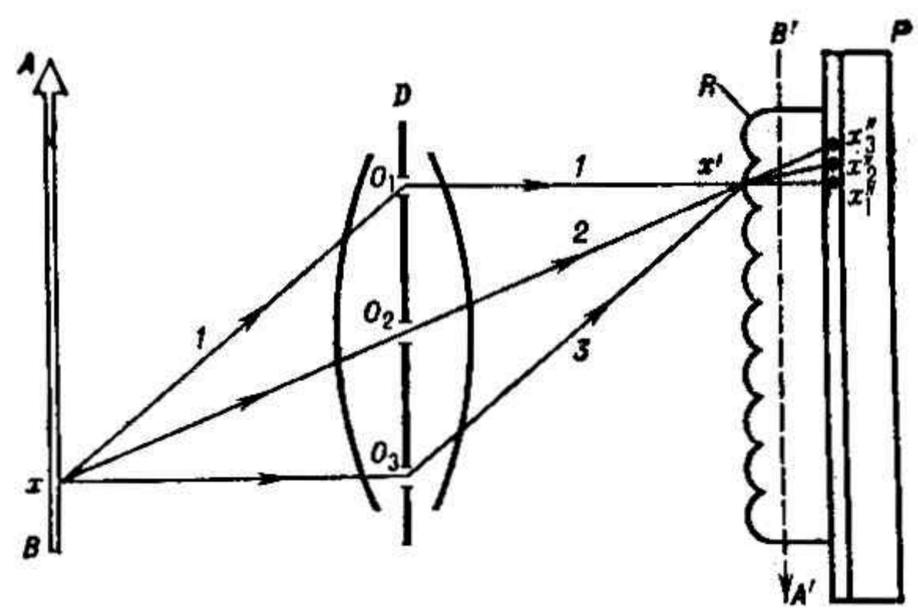


Рис. 4. Растровая оптическая система с записью аспектрограммы объекта AB с помощью полевой диафрагмы.

ки входного зрачка съёмочного объектива. Когда открыт небольшой участок O_1 входного зрачка объектива, лучи от объекта AB , проходящие этот участок, рисуют изображение объекта $A'B'$ так же, как и при полном открытом зрачке, однако, проходя через элементы раstra, они засвечивают не всю поверхность светочувствит. слоя фотопластины P , а только отд. точки на ней. Так, луч 1 от точки x объекта, создавший изображение x' , фиксируется на светочувствит. слое в точке x'_1 . Если же будут открыты участки зрачка O_2 или O_3 , то лучи от точки x объекта, создавая ту же точку изображения x' , зафиксируются в светочувствит. слое соответственно в точках x''_1 и x'''_1 . Т. о., при перемещении открытого участка зрачка на фотогр. материале фиксируется ряд последоват. кадров изображения объекта. Это позволяет осуществлять фоторегистрацию (киносъёмку) движущихся объектов или совмещать на одной и той же фотопластине разнородные изображения, отдельно фотографируемые при разл. местоположениях открытого участка в зрачке. Выборка каждого отд. изображения из полученного на фотоматериале смешанного интегрированного кадра возможна после проявления фотопластины, установки её в прежнее положение и освещения со стороны входного зрачка через те участки, к-рые были открыты при фотогр. записи изображения. Возможное число отдельно различимых изображений в смешанном кадре наз. ё м к о с т ь ю Р. о. с.; в совр. растрах эта величина доходит до 1000.

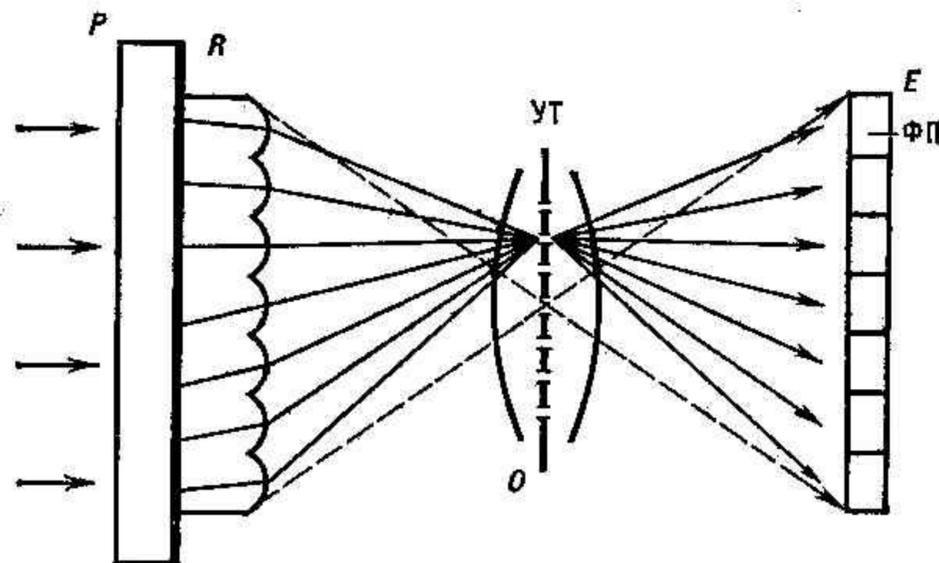


Рис. 5. Принципиальная схема для параллельной обработки многомерной информации: R — растр; P — фотопластинка; $УТ$ — управляемый транспарант; O — объектив; E — экран; $ФП$ — фотоприёмник.

В сочетании с управляемыми транспарантами и матричными твердотельными фотоприёмниками Р. о. с. дают возможность производить разнообразную параллельную обработку массивов многомерной информации (рис. 5). Ряд страниц информации, последовательно записанных через растр на пластинке P , воспроизводится через тот же растр R объективом O на экране E , выполненном, напр., в виде матрицы фотоприёмников. Если при этом во входном зрачке объектива находится управляемый транспарант $УТ$, с помощью к-рого можно делать прозрачными разл. участки зрачка, то, открывая эти участки, можно в разл. порядке проецировать записанные страницы на экран для считывания. Можно одновременно проецировать неск. страниц информации на экран, если одновременно открыто неск. светлых клапанов транспаранта; модулируя соответствующим образом светопропускание транспаранта, можно задавать режимы обработки информации (сложение, вычитание и т. п.).

Принцип действия Р. о. с. применим и к электронным, рентг. и др. пучкам лучей. На рис. 6 представлена схема электронной растровой системы, используемой для формирования цветного изображения на экране телевиз. трубки. Пучки электронов от электронных пушек K_1, K_2, K_3 проходят через щели раstra R_1 ;

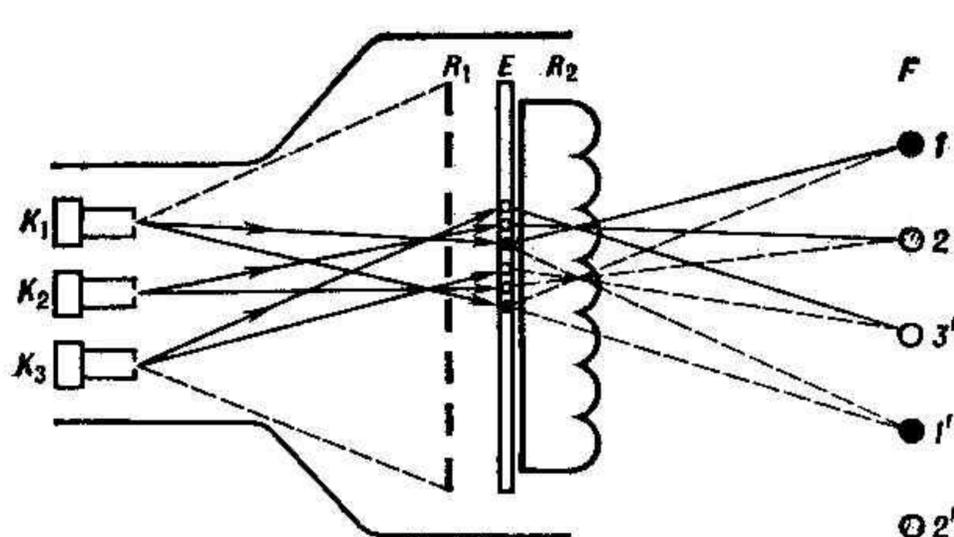


Рис. 6. Схема электронной растровой системы.

пространственно разделяясь, попадают на участки экрана с люминофорами соответственно красного, зелёного и синего свечения. Аддитивно смешиваясь, эти свечения образуют на нек-ром расстоянии цветное изображение. Если перед экраном установить второй растр R_2 , то он пространственно разделит пучки лучей, исходящих от разных по цвету элементов экрана, создавая зоны в точках $1, 2, 3$, а также в точках $1', 2', 3'$ и т. д., из к-рых можно видеть соответственно только красное, зелёное или синее изображение. Если же пушками K_1, K_2, K_3 проецировать на экран не цветные, а стереоскопические изображения, то из точек $1, 2, 3$ и т. д. можно будет видеть соответственно разл. ракурсы пространственного изображения и т. о. наблюдать на экране объёмное изображение.

Др. разнообразные структуры Р. о. с. позволяют осуществлять фокусирование, коллимацию, дефлектирование, спектральную и селективную фильтрацию световых пучков и т. п. Интересной особенностью Р. о. с. является то, что при записи дискретизованных изображений через линзовый растр со щелевой решёткой в его фокальной плоскости (рис. 7) можно получать

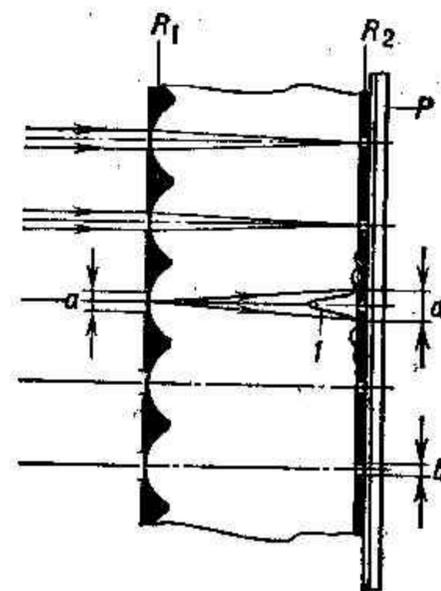


Рис. 7. Дифракция на входной апертуре диафрагмированного линзового раstra R_1 с линзой диаметром a , R_2 — щелевой растр со щелью b ; P — фотопластинка; d — кружок дифракционного рассеяния; I — распределение интенсивности дифракционного рассеяния в фокальной плоскости линзового раstra.

более высокое разрешение, чем это следует из дифракц. теории, за счёт пропускания через механич. щели только центр. части дифракц. картины (диска Эйри), а это позволяет получать большие плотности записи оптич. информации на перемещаемом фотоматериале.

Лит.: Валюс Н. А., Растровая оптика, М.—Л., 1949; его же, Растровые оптические приборы, М., 1966; Дудников Ю. А., Рожков Б. К., Растровые системы для получения объёмных изображений, Л., 1986.

Н. А. Валюс,