

УДК 7.01:15+77

ББК 85.16

Раев О.Н.

ВОСПРИЯТИЕ ФОРМЫ РЕАЛЬНОГО ОБЪЕКТА И ФОРМЫ ОБЪЕКТА В ЕГО ФОТОГРАФИЧЕСКОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

Раев Олег Николаевич, кандидат технических наук, доцент

E-mail: ncenter@list.ru

Сергиево-Посадский филиал Всероссийского государственного института кинематографии им. С.А. Герасимова

Если человек смотрит на объект одним глазом, то воспринимаемая форма объекта искажается в соответствии с законами линейной перспективы. Причём в изображениях на сетчатке левого глаза и на сетчатке правого глаза форма объекта разная из-за различия в пространственном расположении глаз.

Когда человек смотрит на тот же объект двумя глазами, зрительно воспринимаемая форма объекта близка к реальной форме объекта. Это происходит благодаря тому, что при формировании зрительного образа мозг в качестве базовой информации принимает зрительную информацию из носовых половин сетчатки левого глаза и сетчатки правого глаза, а затем из них синтезирует единый образ наблюдаемого объекта.

Если же человек рассматривает фотографию, то оптические изображения на сетчатках обоих глаз примерно одинаковые и в них сохраняются искажения формы объекта, зафиксированные фотографией при одноркурсной фотосъёмке согласно законам линейной перспективы. Формы объектов на фотографии человек воспринимает такими же, как формы реальных объектов, когда он смотрит на них одним глазом.

Ключевые слова: зрение, зрительная информация, сетчаточное изображение, константность восприятия формы, фотография.

В данной статье поставлена задача обосновать, почему видимая форма реального объекта, на который человек смотрит двумя глазами, отличается от видимой формы объекта, когда тот же человек рассматривает фотографическое изображение данного объекта.

Для решения поставленной задачи воспользуемся математическим аппаратом, ранее изложенным в статье «Восприятие человеком формы предмета» [2], в которой приведено объяснение феномена, известного в психологии под названием «константность зрительного восприятия формы объектов», формулируемого следующим образом: в восприятии человека форма объекта постоянна независимо от того, как объект повернут относительно наблюдателя и насколько он удалён от наблюдателя (см., например, [4]).

Для описания объектов, находящихся в пределах поля зрения человека, применим прямоугольную систему координат (x, y, z) . Начало координат разместим в центре отрезка $x_{зр}$ (базис зрения), соединяющего узловые точки оптических систем левого и правого глаза. Ось x направим вдоль базиса зрения в сторону правого глаза; ось y — вверх перпендикулярно базису зрения; ось z — в сторону наблюдаемых объектов (рис. 1). В принятой системе координат ось z является линией взгляда человека.

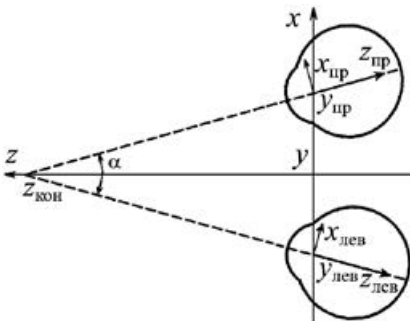


Рис. 1. Системы координат для описания наблюдаемых объектов и оптических изображений этих объектов на сетчатках глаз

Известно [6], что при рассматривании объектов человек постоянно перебрасывает свой взор с одного объекта на другой, с одной части объекта, заинтересовавшей человека, на другую. При этом изменяется расстояние $z_{кон}$ до точки фиксации взгляда (см. рис. 1), в которой зрительные оси левого и правого глаза пересекаются. В процессе конвергенции изменяется величина угла конвергенции α .

Одновременно с конвергенцией происходит аккомодация, т. е. изменяется кривизна сферических поверхностей хрусталика, в результате чего изменяется фокусное расстояние оптических систем каждого глаза и оптические изображения совмещаются с поверхностью сетчатки.

Угол конвергенции α определяется уравнением:

$$\alpha = 2\arctg\left(\frac{x_{зр}}{2z_{кон}}\right). \quad (1)$$

Известно (см., например, [3, с. 31]), что зрительная ось глаза человека развёрнута относительно оптической оси глаза на угол $2-3^\circ$, а у некоторых людей даже больше, чем на 5° . При расчётах сетчаточных изображений следует ориентироваться на оптические оси глаз, но, как показали проведённые автором статьи расчёты, для решения поставленной в статье задачи с достаточной точностью допустимо ориентироваться на зрительные оси глаз, что и сделано далее.

Для описания изображений объектов на сетчатках глаз добавлены прямоугольные системы координат в левом глазу и в правом глазу (см. рис. 1) с центрами координат в передних узловых точках оптических систем глаз, смещённых на зрительные оси. Оси $x_{лев}$ и $x_{пр}$ направим в плоскости xOz направо (если смотреть со стороны сетчаток глаз), оси $y_{лев}$ и $y_{пр}$ — вверх параллельно оси y , оси $z_{лев}$ и $z_{пр}$ — вдоль зрительных осей глаз в сторону сетчаток в плоскости xOz .

Переход от системы координат (x, y, z) к системам координат $(x'_{лев}, y'_{лев}, z'_{лев})$ и $(x'_{пр}, y'_{пр}, z'_{пр})$ осуществляется с помощью следующих преобразований:

для левого глаза —

$$x_{лев} = z \sin\left(-\frac{\alpha}{2}\right) + \left(x + \frac{x_{зр}}{2}\right) \cos\left(-\frac{\alpha}{2}\right), \quad (2)$$

$$y_{лев} = y, \quad (3)$$

$$z_{лев} = -z \cos\left(-\frac{\alpha}{2}\right) + \left(x + \frac{x_{зр}}{2}\right) \sin\left(-\frac{\alpha}{2}\right) \quad (4)$$

и для правого глаза —

$$x_{\text{пр}} = z \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \left(x - \frac{x_{\text{зп}}}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (5)$$

$$y_{\text{пр}} = y, \quad (6)$$

$$z_{\text{пр}} = -z \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \left(x - \frac{x_{\text{зп}}}{2}\right) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right). \quad (7)$$

Согласно теории оптических систем (см., например, [1]), координаты точек изображений, формируемых на сетчатке глаза, с достаточной для выполняемого анализа точностью могут быть рассчитаны следующим образом:

для левого глаза —

$$x'_{\text{лев}} = \frac{x_{\text{лев}}}{z_{\text{лев}}} z'_{\text{ГЛ}}, \quad (8)$$

$$y'_{\text{лев}} = \frac{y_{\text{лев}}}{z_{\text{лев}}} z'_{\text{ГЛ}} \quad (9)$$

и для правого глаза —

$$x'_{\text{пр}} = \frac{x_{\text{пр}}}{z_{\text{пр}}} z'_{\text{ГЛ}}, \quad (10)$$

$$y'_{\text{пр}} = \frac{y_{\text{пр}}}{z_{\text{пр}}} z'_{\text{ГЛ}}, \quad (11)$$

где $z'_{\text{ГЛ}}$ — расстояние от задней главной точки оптической системы глаза до сетчатки.

В принятых системах координат значения координат $x'_{\text{лев}}$, $y'_{\text{лев}}$ соответствуют положению точек изображения объекта относительно центра фовеолы левого глаза, а координаты $x'_{\text{пр}}$, $y'_{\text{пр}}$ — относительно центра фовеолы правого глаза.

ВОСПРИНИМАЕМАЯ ЧЕЛОВЕКОМ ФОРМА РЕАЛЬНОГО ОБЪЕКТА, КОГДА ЧЕЛОВЕК СМОТРИТ ОДНИМ ГЛАЗОМ

Не сужая общности анализа рассмотрим частный случай — простой тест-объект, представляющий собой плоскую прямоугольную полосу бумаги шириной 45 мм и длиной 90 мм. Разместим

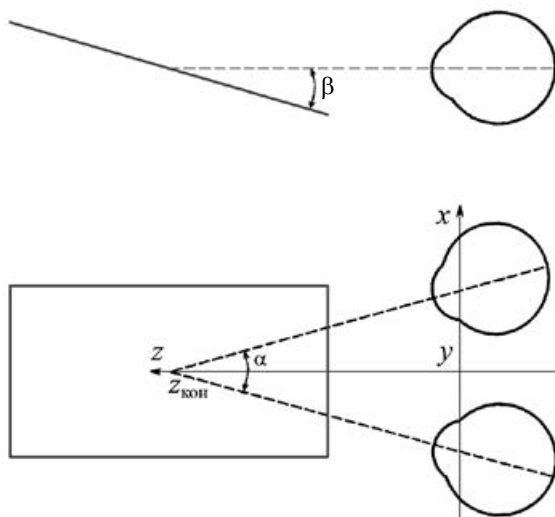


Рис. 2. Схема расположения тест-объекта, при его рассматривании человеком

тест-объект перед лицом человека таким образом, чтобы его центр находился на линии визора человека (на координатной оси z) на расстоянии $z_{\text{кон}} = 200$ мм от начала координат, а длинные стороны тестового объекта — были симметричны относительно оси z . Пусть для определённости полоска бумаги будет наклонена относительно оси z на $\beta = 12^\circ$ (рис. 2).

Тест-объект специально размещён близко к глазам, чтобы усилить разницу в оптических изображениях этого объекта на сетчатках глаз. Очевидно, что чем дальше рассматриваемый тест-объект от глаз, тем воспринимаемая форма тест-объекта будет ближе к его реальной прямоугольной форме.

Координаты углов таким образом ориентированного тест-объекта приведены в таблице 1.

Примем, что базис зрения человека $x_{\text{зр}} = 65$ мм, а расстояние $z'_{\text{гл}} = 18$ мм (расчётное заднее фокусное расстояние принято равным 16,6 мм [3, с. 116]). Заметим, что точное значение расстояния $z'_{\text{гл}}$ в данном случае не важно, поскольку анализируется качественное отличие в восприятии формы реального объекта от восприятия формы того же объекта, изображённого на фотографии.

**Координаты углов тест-объекта из плоской прямоугольной
полоски бумаги**

| <i>x</i> , мм | <i>y</i> , мм | <i>z</i> , мм |
|---------------|---------------|---------------|
| -22,5 | -9,4 | 156 |
| 22,5 | -9,4 | 156 |
| 22,5 | 9,4 | 244 |
| -22,5 | 9,4 | 244 |

Приводить в данной статье математические расчёты и экспериментальные подтверждения правильности принятой математической модели не будем. Интересующимся рекомендуем посмотреть статью [2].

Здесь отметим только, что в ходе эксперимента, когда перед испытуемыми была поставлена задача определить видимую форму объекта, их взор никогда не находился неподвижно на какой-либо одной точке поверхности тестового объекта (как было принято в расчётах), а непрерывно перебрался с одной точки объекта на другую, причём в данном эксперименте в первую очередь по контурам тестового объекта [6]. При этом каждый раз менялась аккомодация и конвергенция глаз, а наиболее резко и чётко воспринималась только та часть тестового объекта, изображение которой попадало на макулярную область сетчатки. Поэтому в каждый момент времени в формировании зрительного образа всего объекта участвует и предыдущая зрительная информация, полученная при рассматривании других участков объекта, и прогнозируемый образ тех участков объекта, которые внимательно ещё не рассматривались (взор на них ещё не направлялся).

Далее сразу перейдём к выводам.

На рис. 3, *a*, *b* показаны расчётные сетчаточные изображения теста-объекта в левом и в правом глазах. Очевидно, что оптические изображения, сформированные на сетчатках, перевёрнуты в горизонтальной и вертикальной плоскостях относительно рассматриваемого тест-объекта. Мозг, обрабатывая зрительную информацию о сетчаточных изображениях, повторно переворачивает их, согласовывая виртуальные образы объектов, передаваемые в сознание, с вертикальным положением человека и с его кинестетическим жизненным опытом. Таким образом, мозг выстраивает в сознании

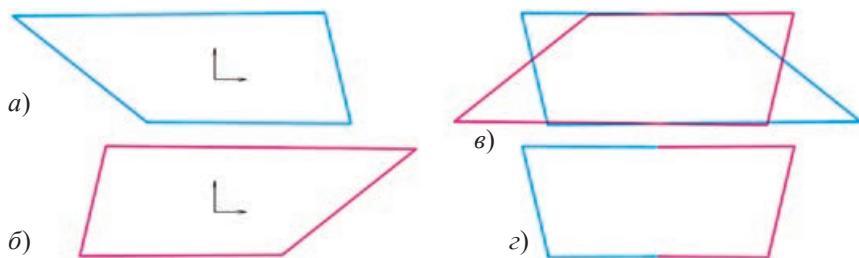


Рис. 3. Оптические изображения тест-объекта на сетчатках глаз и тест-объект, как он виден человеку:

a — изображение на сетчатке левого глаза,

б — изображение на сетчатке правого глаза,

в — наложенные перевёрнутые изображения при совмещении систем координат $(x'_{лев}, y'_{лев}, z'_{лев})$ и $(x'_{пр}, y'_{пр}, z'_{пр})$,

г — тест-объект, как он виден человеку

человека виртуальные образы окружающих его предметов и живых существ в соответствии с их реальным положением в пространстве.

Если человек смотрит на тест-объект одним глазом, то он видит именно такую форму тест-объекта, которая приведена на рис. 3, *a* или 3, *б* (в зависимости от того, каким глазом он смотрит), но, как уже сказано, перевёрнутую по горизонтали и по вертикали, т. е. одним глазом человек видит разнобокую тупоугольную трапецеидальную форму тест-объекта. Причём длинные боковые стороны трапеций в сетчаточных изображениях левого и правого глаза воспринимаются расположенными с разных сторон трапеции.

ВОСПРИНИМАЕМАЯ ЧЕЛОВЕКОМ ФОРМА РЕАЛЬНОГО ОБЪЕКТА, КОГДА ЧЕЛОВЕК СМОТРИТ ДВУМЯ ГЛАЗАМИ

Когда же человек смотрит на тот же тест-объект двумя глазами, он видит, что форма тест-объекта соответствует приведённой на рис. 3, *г*, т. е. человек видит форму тест-объекта близкой к прямоугольной, какова она в действительности, с незначительной обратной перспективой. При этом разница в размерах оснований видимой трапеции несопоставимо меньше, чем разница в размерах оснований разнобокой трапеции, которую человек видит, когда смотрит на тест-объект одним глазом.

Для того чтобы понять, как из существенно различных сетчаточных изображений (см. рис. 3, *а* и 3, *б*) может быть сформирован образ объекта, соответствующий показанному на рис. 3, *г*, наложим друг на друга перевёрнутые по вертикали и горизонтали сетчаточные изображения (рис. 3, *в*).

Трудно представить, что мозг выполняет математические преобразования изображений, чтобы трансформировать их из равнобоких трапеций в равнобокие, сохраняя при этом информацию об удалённости разных участков объекта от наблюдателя и не искажая изображения других объектов, находящихся в поле зрения человека. Однако задача преобразования изображений мозгом значительно упрощается, если принять следующий алгоритм преобразования изображений.

Предположим, что мозг в качестве базовой зрительной информации принимает информацию из носовой половины сетчатки левого глаза и носовой половины сетчатки правого глаза, соединяя их по вертикальной линии, проходящей через центр фовеол. В результате такого объединения изображений получается цельный образ наблюдаемых объектов, форма которых в восприятии человека будет соответствовать рис. 3, *г*. При этом зрительная информация из височных половин сетчаток является дополнительной информацией, учитываемой мозгом, в том числе эта информация в сочетании со зрительной информацией от носовых половин сетчаток позволяет увидеть наблюдаемые объекты стереоскопично.

Расчёты показывают:

- если точка взора уходит дальше, за пределы рассматриваемого объекта, то видимая ширина образа объекта уменьшается;
- чем дальше объект от глаз, тем форма образа объекта ближе к прямоугольной.

Дополнительным подтверждением предложенной гипотезы является тот факт, что зрительная информация с сетчаток каждого глаза разбивается на две половины: от правых половин сетчаток обоих глаз зрительная информация передаётся зрительными волокнами в правую половину мозга, а от левых частей сетчаток — в левую [3, с. 42; 5, с. 72].

Правильность предложенной гипотезы подтверждается, например, простым экспериментом, который может выполнить любой желающий. Возьмите одной рукой какой-нибудь предмет, име-

ющий форму параллелепипеда (например, пенал для ручек, узкую коробку для карандашей, футляр для очков и т. д.), ширина которого не превышает базиса зрения, таким образом, чтобы пальцы руки находились слева и справа относительно предмета, а кисть руки — снизу или сверху предмета, как вам удобнее. Держите предмет перед лицом так же, как испытуемые держали рассмотренный выше тест-объект во время проведения эксперимента. Тогда, глядя на этот объект одним глазом, вы увидите пальцы своей руки только с одной стороны предмета, пальцы на другой стороне предмета будут в зависимости от высоты предмета полностью или частично загорожены предметом. Но если вы будете смотреть на предмет двумя глазами, то увидите, что горизонтальная форма объекта соответствует рис. 3, 2, и, самое главное, вы одновременно будете видеть свои пальцы с обеих сторон предмета.

ВОСПРИНИМАЕМАЯ ЧЕЛОВЕКОМ ФОРМА ОБЪЕКТА В ЕГО ФОТОГРАФИЧЕСКОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

Теперь рассмотрим фотографию того же тест-объекта, размещённую таким образом, чтобы центр фотографического изо-

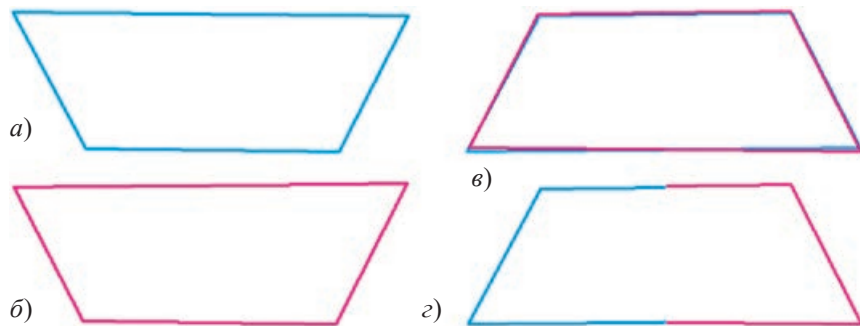


Рис. 4. Оптические изображения фотографии тест-объекта на сетчатках глаз и тест-объект, как он виден человеку при рассматривании его фотографии:

a — изображение на сетчатке левого глаза,

b — изображение на сетчатке правого глаза,

v — наложенные перевёрнутые изображения при совмещении систем координат $(x'_{\text{лев}}, y'_{\text{лев}}, z'_{\text{лев}})$ и $(x'_{\text{пр}}, y'_{\text{пр}}, z'_{\text{пр}})$,

z — тест-объект, как он виден человеку при рассматривании его фотографии

бражения тест-объекта находился на линии зрения человека (на координатной оси z) и чтобы поверхность фотографии была перпендикулярна оси z .

В этом случае расчётные оптические изображения на сетчатках левого и правого глаза будут иметь форму примерно одинаковых равнобоких трапеций. На рис. 4, *а, б* приведён пример таких сетчаточных изображений.

Тогда, если зрительную информацию из носовой половины сетчатки левого глаза соединить со зрительной информацией из носовой половины сетчатки правого глаза, то получится единый цельный образ наблюдаемых объектов, форма которых в восприятии человека будет соответствовать рис. 4, *г*, т. е. форма тест-объекта воспринимается не как прямоугольник, а как трапеция, подобная той, которую человек видит при рассматривании тест-объекта одним глазом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если человек смотрит на объект одним глазом, то воспринимаемая им форма объекта искажается в соответствии с законами линейной перспективы. Причём форма объекта в изображениях на сетчатке левого глаза и на сетчатке правого глаза разная из-за различия в расположении глаз в пространстве.

Если человек смотрит на объект двумя глазами, то воспринимаемая форма объекта подобна форме реального объекта. При этом, если объект имеет существенные длину и ширину, когда его оптическое изображение на сетчатке глаза выходит за пределы макулы, то поскольку в каждый конкретный момент времени человек рассматривает только какую-то часть объекта, то в зрительном восприятии каждой такой части форма объекта соответствует форме реального объекта, но объект целиком в сознании человека представляется подчиняющимся законам линейной перспективы.

Фотографическое изображение объектов, снятых при помощи одного объектива, всегда построено по законам линейной перспективы. При рассматривании фотографии на сетчатке левого глаза и на сетчатке правого глаза оптические изображения всех объектов, запечатлённых на фотографии, имеют близкие формы, соответствующие видимым формам реальных объектов, когда человек смотрит на них одним глазом. Поэтому глубина пространства в

фотографических изображениях отличается от глубины пространства, которую человек видит в реальном, физическом мире, когда смотрит двумя глазами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Прикладная оптика: Учебное пособие / под ред. Н.П. Заказова. 3-е изд., стер. СПб.: Лань, 2009. 320 с.
2. Раев О.Н. Восприятие человеком формы предмета // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе, науке, образовании и в других областях: XI Международная научно-практическая конференция, Москва, 18–19 апреля 2019 г.: Материалы и доклады. М.: КУНА, 2019. С. 51–64.
3. Рожкова Г.И., Матвеев С.Г. Зрение детей: проблемы оценки и функциональной корреляции. М.: Наука, 2007. 315 с.
4. Рок И. Введение в зрительное восприятие: Книга 1. / пер. с англ. / под ред. Б.М. Величковского, В.П. Зинченко. М.: Педагогика, 1980. 312 с.
5. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение / пер. с англ. М.: Мир, 1990. 239 с.
6. Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965. 166 с.

Oleg N. Raev

PERCEPTION OF THE SHAPE OF THE REAL OBJECT AND THE SHAPE OF THE OBJECT IN ITS PHOTOGRAPHIC IMAGE

Oleg N. Raev, PhD (Engineering), assistant professor

E-mail: ncenter@list.ru

Sergiev Posad branch of All-Russian State Institute of Cinematography named after S.A. Gerasimov

If the person looks at object with one eye then the perceived form of object is distorted according to laws of linear prospect. And in images on a retina of the left eye and on a retina of the right eye the form of object different because of difference in a spatial arrangement of eyes.

When a person looks at the same object with two eyes, visually perceived form of the object is close to the real form of the object. This is due to the fact that when forming a visual image, the brain receives visual information from

the nasal halves of the left eye and the right eye retina as basic information, and then synthesizes a single image of the observed object from them.

If the person considers the photo optical images on retina of both eyes approximately identical and in them distortions of the form of the object fixed by photo at one-eyed photography according to laws of linear perspective are kept. The forms of objects in the photo the person perceives as the forms of real objects when he looks at them with one eye.

Key words: vision, visual information, retinal image, constancy of perception of form, photography.

REFERENCES

1. Prikladnaya optika: Uchebnoe posobie / pod red. N.P. Zakaznova. 3-e izd., ster. SPb.: Lan', 2009. 320 p.

2. Raev O.N. Vospriyatie chelovekom formy predmeta / Zapis' i vosproizvedenie ob''emnykh izobrazhenii v kinematografe, nauke, obrazovanii i v drugikh oblastiakh: XI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 18–19 aprelya 2019 g.: Materialy i doklady. M.: KUNA, 2019. P. 51–64.

3. Rozhkova G.I., Matveev S.G. Zrenie detei: problemy otsenki i funktsional'noi korrelyatsii. M.: Nauka, 2007. 315 p.

4. Rok I. Vvedenie v zritel'noe vospriyatie: Kniga 1. / per. s angl. / pod red. B.M. Velichkovskogo, V.P. Zinchenko. M.: Pedagogika, 1980. 312 p.

5. Kh'yubel D. Glaz, mozg, zrenie / per. s angl. M.: Mir, 1990. 239 p.

6. Yarbus A.L. Rol' dvizhenii glaz v protsesse zreniya. M.: Nauka, 1965. 166 p.