

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

К ВОПРОСУ О ВОСПРИЯТИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ,  
СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ОТНОСИТЕЛЬНО СЕТЧАТКИ

В. Г. АФРЕМОВ, А. М. КОТЛЯРСКИЙ, В. И. ЧЕРНЫШЕВ

(Факультет психологии МГУ)

В последние годы в ряде лабораторий исследуется восприятие изображений, стабилизированных относительно сетчатки. Представляет значительный интерес такая форма опыта, при которой изображение, предъявляемое наблюдателю, оставалось бы стабилизированным и в то же время видимым. Известен сейчас лишь один методический прием, позволяющий получить подобный эффект. Это — методика сочетания стабилизации и цветовой модуляции тестового изображения, предложенная И. Ю. Вергилесом [1]. С помощью этой методики был проведен большой цикл исследований, выходящий за рамки частной проблемы стабилизации и имеющий отношение к кардинальным проблемам психологии зрительного восприятия [3]. Многие из полученных данных новы и неожиданны и по-видимому нуждаются в повторных исследованиях, детализации и уточнении. Особенно тщательной проработки заслуживает методическая сторона дела, в частности, необходим поиск других методических приемов, которые бы давали аналогичный эффект длительного наблюдения изображений, стабилизированных относительно сетчатки.

Поскольку во всех методиках стабилизации для проекции объекта на сетчатку используются оптические устройства (линзы) целесообразно выяснить их влияние на результаты эксперимента. Для этого рассмотрим основные принципы построения изображения в эквивалентной оптической системе (линза-глаз) и влияние aberrаций линзы на структуру пучков, строящих изображение тест-объекта на сетчатке.

Как известно из оптики, ограничение пучков лучей, идущих от предмета, производится входным зрачком системы, которым в данном случае будет изображение зрачка глаза через впередистоящую линзу. Принципиально возможны два положения входного зрачка: 1) перед линзой, если зрачок совмещен с ее фокальной плоскостью (телецентрический ход лучей); 2) за сетчаткой глаза, если зрачок глаза расположен перед фокальной плоскостью линзы. Для линз с фокусным расстоянием более 6 мм наиболее вероятен второй случай, так как обычно линза ставится достаточно близко к роговице, а зрачок глаза удален от нее на расстояние 3,05 мм, т. е. находится между линзой и ее фокальной плоскостью. Ход лучей и положение зрачков для этого случая показаны на рис. 1.

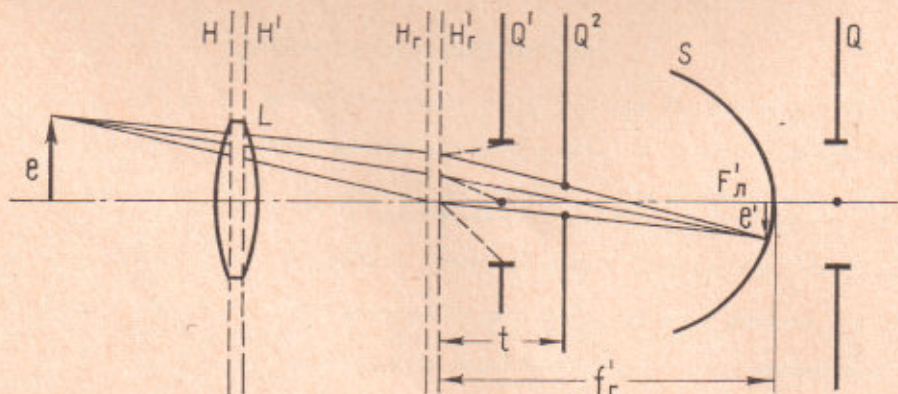


Рис. 1. Ход лучей в эквивалентной системе

*L* — линза, жестко закрепленная на глазе с помощью присоски; *H, H'* — главные плоскости линзы; *F'g* — заднее фокусное расстояние линзы; *Hr, Hr'* — главные плоскости глаза; *Q* — входной зрачок эквивалентной системы; *Q'* — входной зрачок глаза; *Q<sub>2</sub>* — выходной зрачок глаза; *e* — рассматриваемый предмет (тест); *I'* — изображение теста на сетчатке; *f'* — приведенное заднее фокусное расстояние глаза; *t* — положение выходного зрачка глаза относительно его задней главной плоскости

Конус лучей, идущих от любой точки предмета (на рис. 1 показан пучок, идущий от края предмета), ограничивается входным зрачком эквивалентной системы  $Q$  и, преломляясь линзой, попадает на глаз наблюдателя, опираясь своей вершиной на его входной зрачок  $Q'$ . Диоптрийная часть глаза, представленная, как и линза, главными плоскостями, собирает прошедшие через входной зрачок лучи, которые, опираясь на выходной зрачок глаза, фокусируются на сетчатке  $S$ .

Сечение пучка лучей, идущего от крайней точки объекта и образованного передней главной плоскостью линзы, определяет ее световой диаметр, обеспечивающий прохождение световой энергии через эквивалентную систему.

Все предыдущие рассуждения сделаны для случая, когда условно принимается, что aberrации линзы практически отсутствуют. Безусловно, такое допущение возможно только в самом первом приближении, так как применяемые в экспериментах короткофокусные линзы с достаточно большими относительными отверстиями и углам и поля зрения наверняка обладают большими aberrациями. Проверка величин aberrаций и их влияния на эксперимент проводилась путем анализа хода лучей, идущих от края освещенного объекта через линзы с различными фокусными расстояниями и одинаковыми световыми отверстиями. При этом принималось, что наблюдатель имеет эметропический глаз, который в нормальных условиях аккомодирован на бесконечность. Поэтому aberrации рассчитывались для объектов, помещенных в передней фокальной плоскости линзы, удаление которой относительно роговицы во всех случаях равнялось 2 мм (5,05 мм относительно входного зрачка глаза). Линейное поле зрения во всех случаях принималось равным 6 мм.

Были рассмотрены два случая с учетом ранее применявшихся параметров оптики в конструкциях контактных линз и присосок [4], [6]. Кроме того, были выбраны заведомо отличающиеся параметры, ранее не встречавшиеся в конструкциях. В первом случае фокусное расстояние линзы равнялось 5,5 мм, во втором — 13 мм.

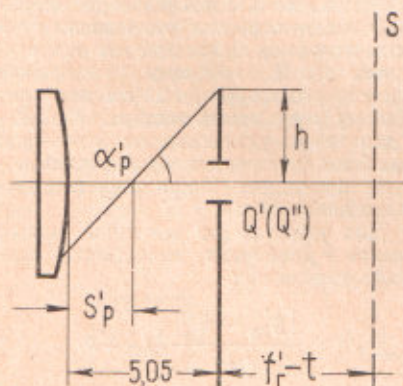


Рис. 2. Ход лучей при использовании линзы с фокусным расстоянием 5,5 мм. Обозначения те же, что на рис. 1

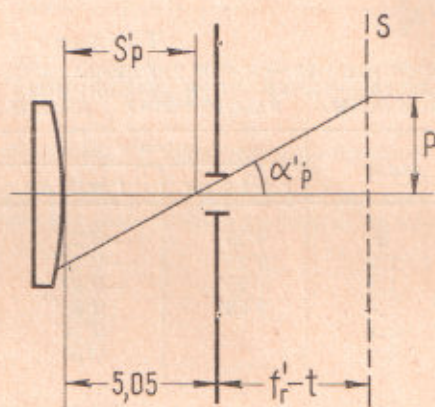


Рис. 3. Ход лучей при использовании линзы с фокусным расстоянием 13 мм. Обозначения те же, что и на рис. 1

Анализ хода главных лучей (осей пучков) показал, что в первом случае из-за существенной aberrации в зрачках наблюдатель может видеть лишь часть объекта. Так, главный луч, идущий от края поля зрения ( $e=3,0$  мм), выходит из линзы под углом  $\alpha p=42^{\circ}20'$  (при отсутствии aberrаций этот угол должен равняться  $28^{\circ}40'$ ) и пересекает ось на расстоянии от задней поверхности линзы  $S=2,29$  мм (рис. 2). Из рисунка видно, что высота пересечения главного луча с плоскостью входного зрачка глаза равна:

$$h = (5,05 - S_b) \operatorname{tg} \alpha' p$$

В нашем случае, когда луч идет от края объекта,  $h=2,5$  мм, что значительно превосходит половину диаметра входного зрачка глаза, который в данных условиях равняется 2 мм. Это значит, что световая энергия от рассматриваемой точки полностью не достигает сетчатки. Расчеты показали, что максимальный размер объекта, видимый глазом через линзу с  $f=5,5$  мм, при стопроцентном прохождении энергии не превосходит 2 мм. Диаметр освещенного при этом пятна на сетчатке ( $2p$ ) легко определить из рис. 3.

$$2p \approx [(5,05 - S'p) + (f_2' - t)] \operatorname{tg} \alpha' b$$

Используя данные анализа хода лучей, идущих от объекта диаметром 2 мм. ( $S' = 5,34$ ;  $\alpha' = 9^{\circ}40'$ ), получим диаметр изображения ( $2p$ ), равный 5,2 мм; освещенность этого

изображения равна 100% световой энергии, идущей от рассматриваемого теста. За пределами этого пятна освещенность будет резко падать, так как начнет сказываться геометрическое виньетирование (оптическая деформация), вызванное aberrациями простой линзы. Учитывая, кроме того, закон Ламберта, согласно которому освещенность по мере удаления от центра изображения падает пропорционально четвертой степени косинуса пологого угла, можно считать, что для  $\alpha'p' \approx 42^\circ$  освещенность наблюдаемого края объекта на порядок меньше, чем в центре.

Аналогичные расчеты выполнены для линзы с фокусным расстоянием 13 мм. В этом случае aberrации в зрачках получились значительно меньше. Здесь главный луч, идущий от края объекта, пересекает ось вблизи центра входного зрачка глаза и, не срезаясь, как в предыдущем случае, достигает сетчатки (также, как на рис. 3). Размер получаемого в этом случае изображения на сетчатке равен 7,8 мм ( $S'p = 5,59$ ;  $\alpha'b = 14^\circ 37'$ ).

Очевидно, что влияние aberrаций не ограничивается только виньетированием пучков и изменением размеров изображения. Говоря о способности эметропического глаза рассматривать изображение различных объектов без напряжения, мы полагаем, что оптическая система, строящая это изображение, посылает в глаз совокупность параллельных пучков, каждый из которых принадлежит определенной точке объекта. Наличие aberrаций в оптической системе приводит к нарушению параллельности пучков. Очевидно, что в центре поля зрения влияние aberrаций будет минимальным, увеличиваясь по мере удаления рассматриваемой точки объекта от оптической оси линзы. Последнее приводит к тому, что изображение плоского объекта имеет определенное рассеивание, вследствие чего периферийная часть его в зависимости от рассеивания, постепенно размываясь, исчезает совсем.

Для характеристики величины отклонения от параллельности в случае простых линз с фокусным расстоянием 5,5 и 13 мм были выполнены расчеты хода лучей, идущих от различных точек объекта, расположенного в параксиальном фокусе линзы, в центр и край входного зрачка. В результате вычислений были получены величины  $\Delta\alpha'p$  отступления от параллельности, значения которых приведены в табл. 1.

Таблица 1  
ОТКЛОНЕНИЯ ОТ ПАРАЛЛЕЛЬНОСТИ  
ХОДА ЛУЧЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ  
ФОКУСНЫХ РАССТОЯНИЯХ ЛИНЗЫ

$e$ (мм)	$\Delta\alpha'p$	
	$f' = 5,5$ мм	$f' = 13$ мм
0	$0^\circ 20'$	$-0^\circ 23'$
1,0	$0^\circ 25'$	$-0^\circ 16'$
1,5	$1^\circ 25'$	$-0^\circ 07'$
2,0	$3^\circ 53'$	$0^\circ 05'$
2,5		$0^\circ 24'$
3,0		$0^\circ 59'$

Как видно из табл. 1, в случае короткофокусной линзы с фокусным расстоянием 5,5 мм, отклонения выходящего луча от оптической оси линзы на 2 мм достигают почти  $4^\circ$ . В то же время увеличение фокусного расстояния до 13 мм приводит к резкому уменьшению величины  $\Delta\alpha'$ . Даже для точек, удаленных от оптической оси на 3 мм, отклонение от параллельности не превышает  $1^\circ$  при фокусном расстоянии линзы 13 мм.

Для удобства эти величины можно выразить в диоптриях, используя следующее выражение:

$$\varphi = \frac{(S'_{3p} - S)}{S_1 D} \operatorname{tg} \Delta\alpha'p,$$

где:  $\varphi$  — число диоптрий, соответствующее данному углу;

$S'_{3p}$  — положение входного зрачка относительно передней главной плоскости линзы;

$S_1$  — расстояние рассматриваемого объекта от передней главной плоскости линзы;

$D$  — половина диаметра входного зрачка.

Соответствующие величины представлены на графике (рис. 4).

Как видно из графика, в случае короткофокусной линзы наблюдатель при фокусировке объекта выбирает наилучшую плоскость установки, отстоящую от параксиального фокуса линзы (плоскости, соответствующей нулю диоптрий) на величину около 12 диоптрий. Но даже в этом случае рассматривание точек, удаление которых от центра теста превышает 1,3 мм, все более осложняется.

При линзе с фокусным расстоянием 13 мм плоскостью наилучшей установки будет плоскость, проходящая весьма близко от параксиального фокуса. При этом в пределах глубины аккомодации наблюдатель может рассматривать объекты протяженностью  $\pm 2,7$  мм.

Исходя из результатов вышеприведенного анализа двух различных оптических систем были изготовлены линзы, соответствующие расчетам; эти линзы проверялись в эксперименте. Для этого использовалась усовершенствованная конструкция присоски типа  $\Pi_6$  [4] с локализованным микросточником белого света, расположенным на тубусе присоски.

В качестве тест-объекта использовались изображение шахматной позиции и цифровая таблица. Снаружи тубус закрывался молочным стеклом, обеспечивающим полное рассеивание света, посылаемого микросточником. В целях устранения влияния аккомодации глаза на результаты опыта перед началом эксперимента объекты устанавливались в фокальной плоскости применявшейся линзы по бесконечно удаленному объекту. Установка тест-объекта осуществлялась при помощи специального приспособления (рис. 5). Оно пред-

ставляет собой устройство, состоящее из плато (1), на котором укреплены десятикратная лупа (2) и суппорт (3) с микрометрическим винтом (4). На суппорт помещается присоска (5) с линзой (6) так, чтобы геометрическая ось присоски совпала с оптической осью линзы, а подвижный тубус присоски (7) с прозрачным тест-объектом (8) были обращены к лупе.

Принцип работы устройства заключается в следующем. Присоска с линзой при помощи суппорта перемещается так, чтобы изображение удаленного объекта, находящегося со стороны линзы на расстоянии более 1 м, было резко видно через лупу. При этом осуществляется совмещение предметной плоскости линзы с фокальной плоскостью линзы (6). Для того, чтобы совместить с этой же плоскостью тест-объект, перемещают подвижный тубус (7) так, чтобы через лупу увидеть резкое изображение теста. Если совмещение выполняется по центральной части теста, то можно считать, что его плоскость совпадает с фокальной плоскостью линзы.

В присоске использовались просветленные линзы, изготовленные из специального оптического стекла типа К-8. В целях устранения запотевания и помутнения изображения, присоски перед началом опыта помещались в специальное подогревательное устройство. После подогрева присоска устанавливалась на глаз испытуемого. В опытах участвовали 5 испытуемых в возрасте от 18 до 20 лет с нормальным зрением.

Перед испытуемым ставилась задача: просто смотреть на изображение, стараясь не двигать глазом; если изображение или какой-либо его элемент будет пропадать, то нужно было постараться тут же его найти.

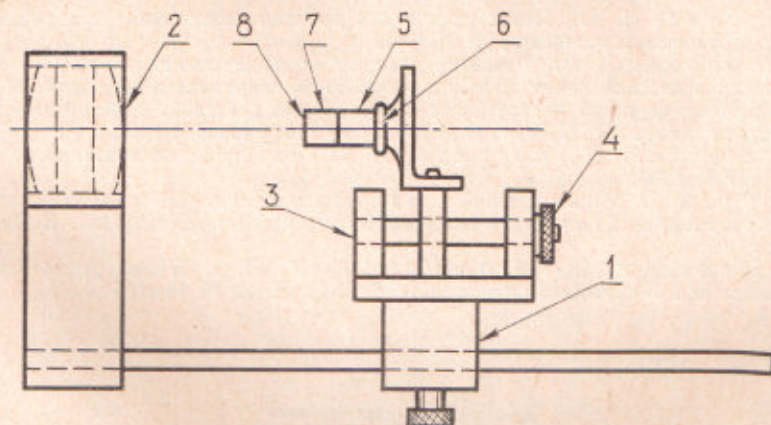


Рис. 5. Приспособления для установки тест-объекта. Объяснения в тексте

Проводились две серии экспериментов. В первой использовалась линза с фокусным расстоянием 5,5 мм, во второй — линза с фокусным расстоянием 13 мм.

Как и следовало ожидать, при применении линзы с фокусом 5,5 мм изображение пропадало через 2—3 сек и частично появлялось (отдельные элементы) при попытке найти исчезнувшую фигуру или цифру. Как свидетельствуют отчеты испытуемых, им так и не удавалось найти целую фигуру или цифру, но зато возникали отдельные элементы изображения этих фигур или цифр. Вот один из отчетов (возраст 18 лет): «Когда поставили при-

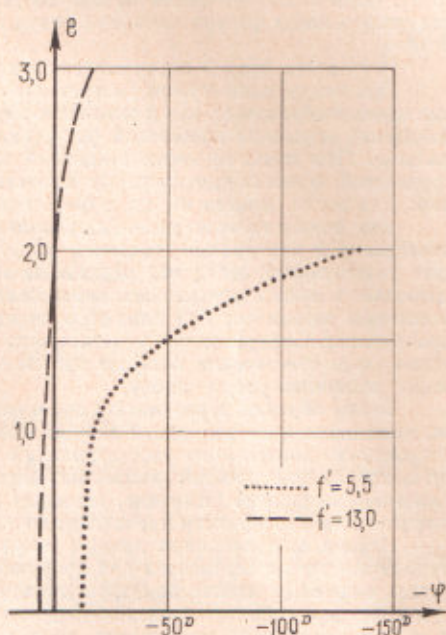


Рис. 4. График зависимости числа диоптрий от полевого размера изображения

соску, было отчетливо видно, затем изображение стало пропадать и исчезло совсем. Когда попыталась найти фигуру, то вместо фигуры появился левый край шахматной доски и тут же исчез».

Результаты второй серии оказались противоположными результатам первой.

При инструкции просто смотреть, не двигая глазом, испытуемый хорошо мог видеть как целое изображение, так и его элементы, но через некоторое время, возникало частичное выпадение отдельной шахматной фигуры или цифры; они, как говорили испытуемые, «стирались». При попытке найти выпавший элемент испытуемые не обнаруживали никаких трудностей, о чем свидетельствуют их отчеты. Вот один из них (возраст 18 лет): «Цифры находила легко, правда их легче было найти в центре, чем по краям таблицы».

Как показали эксперименты, использование короткофокусной линзы позволяет при определенной инструкции, даваемой испытуемому, частично проявить изображение, но не дает возможности найти его отдельный элемент. Использование длиннофокусной линзы позволяет в любых случаях сохранять целостность изображения при частичном выпадении отдельных элементов; под влиянием определенной инструкции выпавший элемент вновь проявляется. Следует также заметить, что при наблюдении через короткофокусную линзу испытуемые чувствовали большое напряжение («труднее смотреть»), чем при наблюдении через длиннофокусную линзу.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов обнаружилось, что: а) линза, выполненная по расчетным данным (имеются в виду линзы с  $F=13$  мм), обеспечивает возможность длительного рассматривания тест-объекта, стабилизированного относительно сетчатки; б) при простом рассматривании стабилизированного тест-объекта происходит частичное выпадение (стирание) элемента изображения; полное восстановление элемента изображения в восприятии происходит по инструкции «найти исчезнувшую цифру (фигуру)».

Исходя из полученных данных можно предположить: а) что применение короткофокусных линз в экспериментах для проекции изображений, неподвижных относительно сетчатки, оказывает неблагоприятное влияние на деятельность субъекта в этих условиях; при этом дают себя знать физиологические возможности работающего механизма сетчатки и ее компонентов; б) применение линз с  $F=13$  мм создает благоприятные условия для восприятия объекта, неподвижного относительно сетчатки, причем первая фаза данного восприятия также как и в предыдущем случае, зависит от физиологических возможностей работающего механизма сетчатки и ее компонентов, вторая же фаза, наступающая в результате выполнения инструкции, свидетельствует о том, что поисково-различительная деятельность субъекта при наличии эталона, указанного в инструкции, приводит к снижению порога различения и вторичного появления образа, исчезнувшего в результате торможения наступившего в первой фазе.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Вергилес Н. Ю. Метод увеличения времени восприятия стабилизированного образа. «Вопросы психологии», № 2, 1966.
2. Запорожец А. В. Развитие восприятия и деятельности. «XVIII Международный психологический конгресс». Симпозиум 30, «Восприятие и действие». М., 1966; Проблема генезиса, функций и структуры перцептивных действий. «Третий Всесоюзный съезд Общества психологов СССР», т. I. М., Изд-во «Просвещение», 1968.
3. Зинченко В. П., Вергилес Н. Ю. Формирование зрительного образа. М., Изд-во МГУ, 1969.
4. Ярбус А. Л. Роль движений глаз в процессе зрения. М., Изд-во «Наука», 1963.
5. HeskemueUer E. G. The stabilized retinal image. «Psychol. Bull.», № 3, 1965.
6. Pritchard R. M., Heron W. and Hebb D. O. Visual perception approached by the method of stabilized images. «Canad. J. Psychol.» № 14, 1960.

