

**МЕТОДЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО  
ИССЛЕДОВАНИЯ****ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ТРАНСФОРМАЦИИ  
ЗРИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ**

*В. А. Барabanщиков, В. И. Белопольский, Н. Ю. Вергилес*

В последние годы исследования качественных и количественных особенностей движений глаз привлекают пристальное внимание широкого круга специалистов. Среди многочисленных аспектов анализа глазодвигательной активности особое место принадлежит изучению принципов и механизмов работы системы, обеспечивающей регуляции движений глаз в тех или иных условиях наблюдения.

Следует отметить, что существующие представления о работе глазодвигательной системы (ГДС) человека в значительной степени зависят от выбора методических приемов исследования. Так, использование ряда новых экспериментальных процедур — предъявление «пульсовых», двойных «пульсовых» стимулов [14, 15], стимулов, стабилизированных относительно сетчатки глаза [2, 5, 6], позволило получить новые данные о работе ГДС, которые далеко не всегда соответствуют общепринятым представлениям.

Цель данной статьи состоит в описании «батарей» частных методик исследования ГДС, базирующихся на едином принципе: трансформации зрительной обратной связи.

Рассмотрим основные составляющие ГДС. На вход системы поступает сигнал рассогласования между положением объекта фиксации на сетчатке и центром фовеа. Выходом системы является поворот глаза. Цель регуляции состоит в минимизации входного сигнала. Таким образом, система устанавливается в устойчивое положение только в том случае, когда проекция объекта фиксации на сетчатке совмещается с фовеа. Так как каждый поворот глаза в сторону объекта фиксации сопровождается уменьшением сигнала рассогласования, то (по аналогии с техническими системами автоматического регулирования) ГДС человека может быть описана как следящая система позиционного контроля с отрицательной обратной связью [1, 8].

Факт наличия в ГДС обратной связи имеет важнейшее методическое значение, поскольку трансформация отношений выход — вход открывает новые пути для анализа закономерностей функционирования ГДС и ее экстрасистемных связей. (Напомним, что для технических систем автоматического регулирования изменение обратной связи является одним из основных методов исследования.)

Можно выделить три основных параметра трансформации зрительной обратной связи ГДС: величина, знак и направление. Величина зрительной обратной связи есть отношение между углом поворота глаза и

угловой амплитудой смещения проекции объекта фиксации по сетчатке. В обычных условиях работы ГДС величину зрительной обратной связи можно считать равной единице. Однако в принципе эта величина может быть как  $>1$  (визуальный угол, на который смещается проекция объекта, больше угла поворота глаза), так и  $<1$  (отношение углов обратное). Случаю, когда величина зрительной обратной связи равна нулю, соответствуют условия стабилизации изображения объектов относительно сетчатки.

Знак зрительной обратной связи ГДС показывает относительное изменение входного сигнала при осуществлении поворота глаза и может быть отрицательным (норма) и положительным. В последнем случае при повороте глаза проекция объекта фиксации на сетчатке должна не приближаться к фовеа, а удаляться от нее в диаметрально противоположном направлении.

Количественно знак и величина зрительной обратной связи ГДС могут быть выражены с помощью коэффициента зрительной обратной связи  $\pm K_{обр}$ .

Понятие знака зрительной обратной связи предполагает одномерность параметра регулирования и в применении к ГДС является узким. Поскольку регулирование позиции глаза осуществляется по крайней мере в двух координатах, возможно смещение проекции объекта на сетчатке относительно фовеа в самых различных направлениях. Поэтому в общем случае регуляция движений глаз может быть описана в терминах направления зрительной обратной связи ГДС.

В настоящее время известно несколько экспериментально-методических приемов, позволяющих изменять параметры зрительной обратной связи ГДС.

1. Анатомо-физиологическое нарушение зрительно-моторных отношений: а) хирургическое изменение зрительно-моторных связей; б) медикаментозное воздействие на мышечный аппарат глаза; в) энергетическое воздействие света на сетчатку глаза, ведущее к появлению послеоблаза [2, 9, 11, 12, 17, 19]. Указанные приемы далеко не всегда применимы к человеку, а диапазон возможных изменений  $K_{обр}$  невелик ( $K_{обр} = 0; +1$ ).

2. Использование внешних оптических систем. При помещении на определенном расстоянии перед глазом сильной собирающей или рассеивающей линзы можно добиться восприятия энтоптического образа зрачка. Связь между перемещением проекции зрачка по сетчатке и движениями глаз можно менять в довольно широких пределах, включая изменение знака и величины  $K_{обр}$ , а также стабилизировать изображение относительно сетчатки глаза ( $K_{обр} = 0$ ) [7, 21]. Одной из разновидностей данного способа является использование сферического зеркала. В этом случае объект восприятия представляет собой световое пятно, образованное в результате отражения роговицей внешнего точечного источника света.  $K_{обр}$  зависит от положения центра вращения глаза относительно фокуса зеркала [10].

3. «Оптические рычаги». Сфокусированный луч проектора отражается от зеркальца, прикрепленного к глазу с помощью присоски или контактной линзы, на экран. Меняя длину пути луча от экрана до глаза и его направление, можно изменять как величину, так и знак  $K_{обр}$  [8, 10].

4. Электронное управление позицией стимула. Данный способ получил наибольшее распространение [16, 20]; он основан на том, что электронный сигнал, регистрирующий движения глаз, подается на вход дисплея. Усиление, инверсия или другое, более сложное манипулирование сигналом во внешней цепи между регистратором движений глаз и дисплеем позволяет получить весь интересующий диапазон изменения  $K_{обр}$ , включая и направление обратной связи.

Следует отметить, что описанные способы трансформации зрительной обратной связи ГДС обладают рядом неточностей и ограничений.

Во-первых, почти все они накладывают жесткие ограничения как на характеристики тестовых объектов — их размер, форму, содержание пространственную динамику, так и на способы действия испытуемых. Во-вторых, большинство указанных методических приемов имеют узкий амплитудный диапазон движений глаз, для которых сохраняются заданные условия изменения  $K_{обр}$ . В-третьих, некоторые способы изменения зрительной обратной связи ГДС допускают возможность попадания в поле зрения частей аппаратуры и обстановки, воспринимаемых без изменения  $K_{обр}$ . Наконец, в-четвертых, рассмотренные способы являются довольно трудоемкими и не всегда обеспечивают желаемую степень и точность изменения параметров зрительной обратной связи.

По-видимому, наиболее адекватным способом изменения зрительной обратной связи для исследования ГДС и механизмов зрительного восприятия следует признать такой, который позволил бы длительно предъявлять объекты любой формы и содержания — как неподвижные, так и движущиеся — в условиях строгого контроля за движениями глаз и  $K_{обр}$  и без ограничения собственных движений наблюдателя. Этим требованиям удовлетворяет предлагаемый в данной работе принцип, который заключается в трансформации проекционных отношений объектов восприятия на сетчатке с помощью прикрепленных непосредственно на глаз искусственных оптических устройств. Отметим, что указанный принцип в его частных формах (изменение знака зрительной обратной связи, стабилизация изображения объектов относительно сетчатки) разрабатывался и ранее [7, 13, 21], но не получил должного развития.

#### ОПТИЧЕСКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗРИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ГДС

В основу данного метода положены эффекты, возникающие при изменении коэффициента увеличения оптической системы глаза. Суть его состоит в следующем.

Проекция стимула на сетчатке определяется углом между его позицией и оптической осью глаза. Именно на этот угол и должен повернуться глаз, чтобы стимул спроецировался в центр фовеа (рис. 1, а). Аналогичные отношения имеют место и в том случае, если перед глазами находится увеличивающая или уменьшающая оптические системы (на рис. 1, б для простоты построения изображена только одна положительная линза). Здесь стимул виден под углом  $\alpha$ , т. е. соответствует углу зрения мнимого изображения  $a''o''$ ; на этот же угол  $\alpha$  должен повернуться и глаз, чтобы обеспечить фиксацию точки  $a''$ .

Когда же оптическая система поворачивается вместе с глазом (рис. 1, в), угол поворота глаза, необходимый для точного совмещения проекции точки  $a''$  с фовеальной областью, равен  $\beta$ . Из построения видно, что  $\alpha \neq \beta$ , причем если использована увеличивающая линза, то  $\alpha > \beta$ , а при уменьшающей линзе  $\alpha < \beta$ .

Отношение  $\alpha/\beta$  даст значение  $K_{обр}$ . Нетрудно заметить, что  $\alpha/\beta$  совпадает по абсолютной величине с коэффициентом увеличения оптической системы. Следовательно, меняя силу оптической системы, можно управлять и величиной  $K_{обр}$ , оставляя без изменения естественный знак обратной связи (отрицательный).

Практически данный способ был реализован в виде оптической системы, укрепленной на центральной глазной присоске. Каждая оптическая система состояла из двух линз — положительной и отрицательной, что обеспечивало фокусировку четкого изображения на сетчатке. При использовании в качестве окуляра отрицательной линзы (рис. 2, а) система работала на увеличение, а при окуляре из положительной линзы

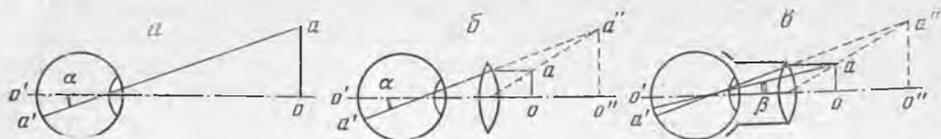


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая зависимость угла смещения проекции объекта по сетчатке от угла поворота глаза. *a* — В обычных условиях; *б, в* — соответственно при линзе, расположенной перед глазом и прикрепленной на глаз; *o, a* — объекты фиксации, *o'a'* — проекция объектов на сетчатке, *o''a''* — мнимое (воспринимаемое) положение объектов в пространстве;  $\alpha, \beta$  — угол поворота глаза с точки *o* на *a*



Рис. 2. Схематическое изображение глазных присосок с оптическими системами, использованными для увеличения (*a*) и уменьшения (*б*) угла проекции внешнего объекта на сетчатке. 1 — Корпус присоски с центральным тубусом; 2 — оптическая система, состоящая из положительной и отрицательной линз

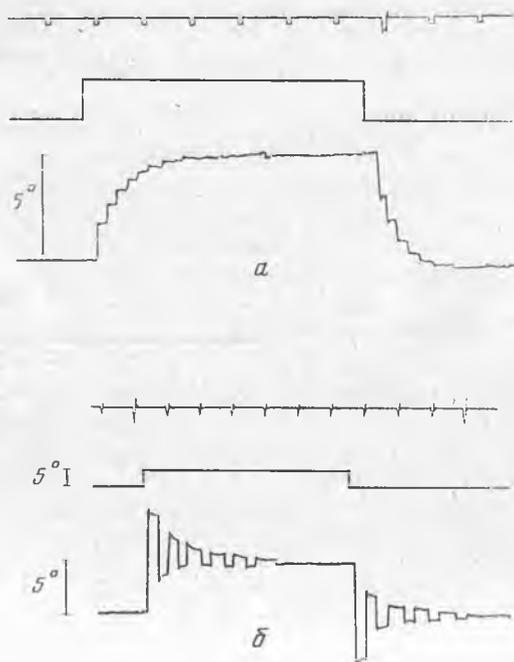


Рис. 3. Записи движений глаз (горизонтальная составляющая) в процессе смены точек фиксации при  $K_{обр} = -0,3$  (*a*) и  $-2,4$  (*б*) (вверху — стимул)

(рис. 2, *б*) — на уменьшение. Диаметр линз изменялся от 5 до 8 мм. Размер поля зрения  $15-40^\circ$  зависел от коэффициента увеличения оптической системы.

На рис. 3 показаны типичные записи движений глаз при  $K_{обр} < -1$  и  $> -1$ . Видно, что фиксационный поворот при  $K_{обр} > -1$  состоит из целого ряда однонаправленных саккад, амплитуда которых последовательно уменьшается вплоть до достижения глазом устойчивого положение

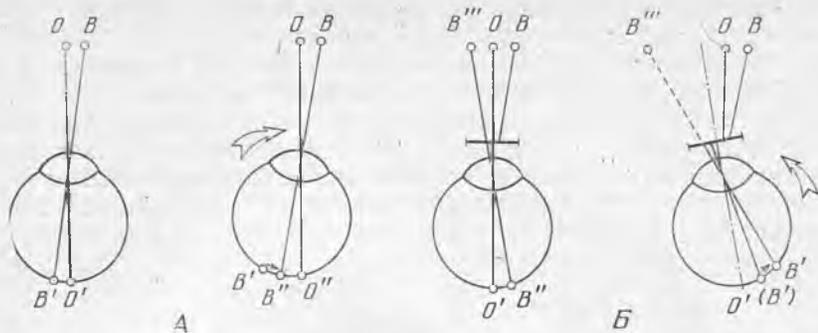


Рис. 4. Схема, иллюстрирующая зависимость направления смещения проекции объекта по сетчатке от направления поворота глаза. А — В обычных условиях; Б — при установке на глаз инвертирующей оптической системы (сплошная черта);  $O, B$  — объекты фиксации,  $O'B'$  — проекция объектов на сетчатке до поворота глаза,  $B'''$  — мнимое (воспринимаемое) положение  $B$  в пространстве; широкая стрелка — направление поворота глаза, тонкая — смещение проекции объектов на сетчатке

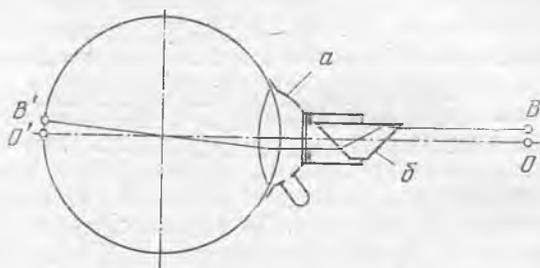


Рис. 5. Схема, иллюстрирующая метод оптической инверсии знака зрительной обратной связи.  $a$  — Глазная присоска;  $b$  — инвертирующая призма;  $OB$  — объект,  $O'B'$  — проекция объекта на сетчатке

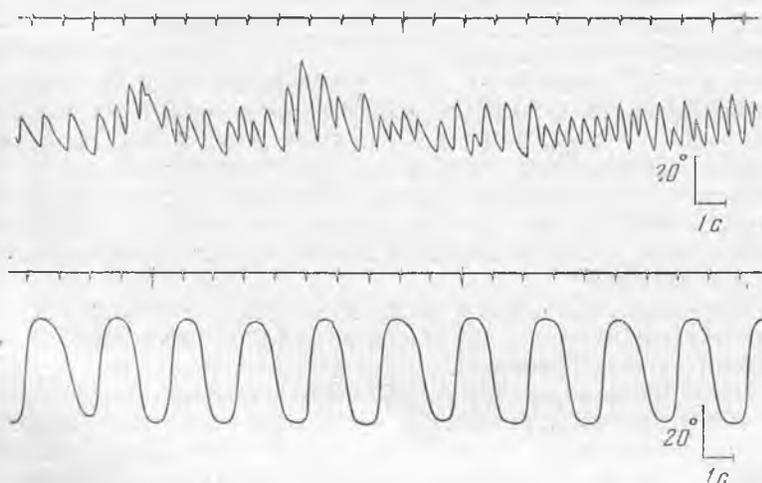


Рис. 6. Записи движений глаз в условиях изменений знака зрительной обратной связи (горизонтальная составляющая).  $a$  — Инверсионный нистагм;  $b$  — плавные синусоидальные колебания

ния. Данный режим фиксационного поворота можно обозначить как режим «недорегулирования». При  $K_{обр} < -1$  фиксационный поворот совершается в режиме «перерегулирования» — амплитуда саккад превышает угол поворота, необходимый для достижения цели, а устойчивое положение глаза достигается посредством серии разнонаправленных саккад с постепенным затуханием колебаний. В обоих режимах амплитудные характеристики саккад, составляющих фиксационные повороты и соответственно число саккад в них, находятся в тесной зависимости от величины  $K_{обр}$ .

#### ОПТИЧЕСКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАКА ЗРИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ГДС

Данный метод основан на инверсии сетчаточной проекции объектов восприятия в условиях перемещения инвертирующего устройства вместе с глазом. Принципиальная схема динамики проекционных отношений на сетчатке, соответствующая этой ситуации, дана на рис. 4.

— В обычных условиях (рис. 4, а) глаз поворачивается в сторону объекта восприятия  $B$ , причем смещение проекции объекта на сетчатке  $B$  происходит в направлении фовеа  $O'$ . При установке на глазное яблоко инвертирующей оптической системы (рис. 4, б) отношение между направлением смещения проекции объекта по сетчатке и поворотом глаза меняется: во время последнего проекция объекта на сетчатке  $B'$  удаляется от фовеа в диаметрально противоположном направлении.

Данный методический принцип изменения знака зрительной обратной связи реализуется с помощью миниатюрной трапециевидной призмы с углами у основания по  $45^\circ$ , которая укрепляется на глазном яблоке центральной присоской. Установка призмы обеспечивает инвертированное восприятие объектов в поле зрения  $\sim 40^\circ$  (рис. 5). Особенность использования инвертирующей призмы заключается в том, что она позволяет изменять на противоположные нормальные пространственные отношения изображения объектов на сетчатке лишь вдоль одной, инвертируемой оси, которая задается положением плоскости трапеции призмы. Пространственные отношения проксимального стимула, расположенные перпендикулярно этой оси, не изменяются. Если плоскость трапеции наклонена к горизонтальной на угол  $\alpha$ , то изображение объекта на сетчатке изменит свое положение на  $180^\circ$  вдоль оси наклона; ориентация проекции объекта на сетчатке вдоль оси, расположенной под углом  $\alpha + 90^\circ$  к горизонтали, сохранится. Вращая призму, можно менять ориентацию сетчаточного изображения, причем ось инверсии будет определять вектор изменения знака обратной связи. Пользуясь математическим термином, можно сказать, что преобразование изображения объекта на сетчатке, вызванное трапециевидной призмой, является вырожденной или частичной инверсией.

Способ крепления призмы в металлическом тубусе допускает ее вращение относительно центральной оси присоски и обеспечивает любую ориентацию инвертируемой оси.

Установка призмы на глаз человека независимо от ориентации инвертируемой оси приводит к нарушению сенсомоторной координации ГДС и появлению специфических форм глазодвигательной активности: в частности нистагма и крупноамплитудных синусоидальных колебаний (рис. 6). В этом случае полностью теряется стабильность восприятия окружающего мира и разрушаются действия человека, осуществляемые под контролем зрения.

## ОПТИЧЕСКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

В основе этого метода лежит изменение ориентации всей системы координат сетчатки относительно объектов восприятия. Любое смещение глаз в направлении  $\alpha$  вызовет смещение проекции объекта фиксации на сетчатке в направлении  $\alpha + \gamma$ , где  $\gamma$  — угол поворота осей координат сетчатки. Чем больше  $\gamma$ , тем сильнее рассогласование между направлениями поворота глаза и смещением изображения объекта на сетчатке, тем труднее выполнение глазодвигательной задачи (фиксирование объекта). В обычных условиях регуляции движений глаз, когда направление поворота глаза и смещения проекции объекта на сетчатке совпадают,  $\gamma = 0$ . В возможном предельном случае, когда направление поворота глаза и смещение проекции объекта на сетчатке диаметрально

Рис. 7. Схематическое изображение присоски, которая снабжена оптической системой, позволяющей варьировать ориентацию осей координат сетчатки. *a* — Корпус присоски; *b* — баллончик для отсоса воздуха; *e* — диафрагма; *z* — первый тубус; *d* — первая призма; *e* — второй тубус; *ж* — вторая призма

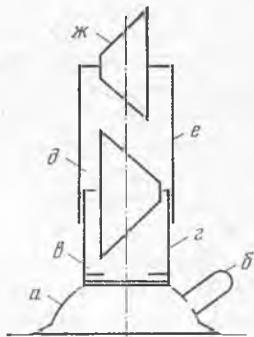


Рис. 8. Запись движений глаз при инструкции фиксировать заданный точечный объект ( $\gamma = 105^\circ$ )

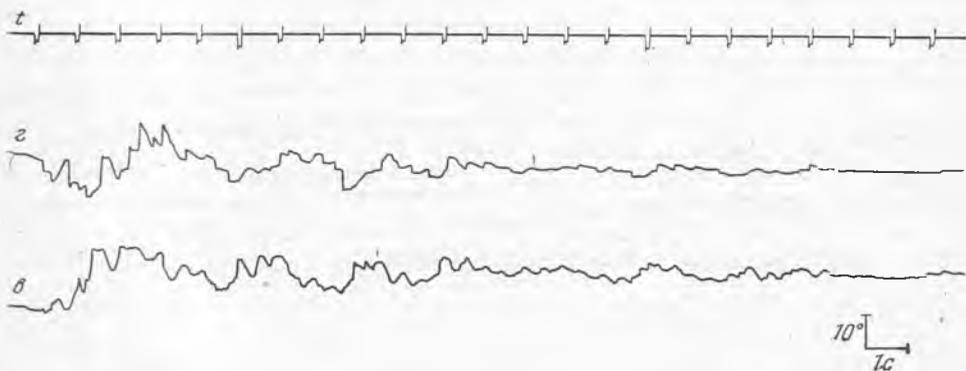


Рис. 8

противоположны,  $\gamma = 180^\circ$ . Условно разделяя обратную связь на отрицательную и положительную, можно полагать, что движение глаз при  $\gamma = 0$  ( $360^\circ$ ) регулируется на основе отрицательной, а при  $\gamma = 180^\circ$  — положительной зрительной обратной связи. Вне этих крайних значений при  $0^\circ < \gamma < 180^\circ$  и  $180^\circ < \gamma < 360^\circ$  регуляция движений глаз происходит на основе различных направлений зрительной обратной связи.

Монотонный поворот осей координат сетчатки может быть получен с помощью оптической системы, состоящей из двух трапециевидных призм, последовательно преломляющих отраженные от объекта лучи света. В этом случае каждая из призм инвертирует изображение объекта вдоль оси, параллельной плоскости трапеции призмы, но суммарный эффект двух инверсий дает поворот координатных осей сетчатки на некоторый угол  $\gamma$ . Угол поворота осей определяется углом поворота плос-

кости трапеции одной призмы относительно другой. Монотонный поворот призм друг относительно друга на угол  $0^\circ - \pm 90^\circ$  (независимо от направления поворота) дает монотонный поворот осей координат сетчатки на угол  $0^\circ - \pm 180^\circ$ . Абсолютная ориентация призм в данном случае не имеет значения.

В наших исследованиях две миниатюрные трапециевидные призмы укреплялись на центральной присоске (рис. 7). Каждая призма устанавливалась в отдельном тубусе, вращение которого позволяло изменять положение плоскости трапеции призмы и соответственно задавать необходимый угол поворота осей координат сетчатки. Данная оптическая система обеспечивала восприятие объектов, находящихся в поле зрения около  $30^\circ$ .

Исследования показывают, что в условиях монотонного изменения направления зрительной обратной связи ГДС происходит непрерывная трансформация глазодвигательной активности, зрительного восприятия и привычных способов решения перцептивных задач. Высшей точки эта трансформация достигает при  $\gamma = 180^\circ$  — значении, соответствующем регуляции движения глаз на основе положительной зрительной обратной связи (полная инверсия).

На рис. 8 приведена запись движения глаз (горизонтальной и вертикальной составляющей) при фиксировании заданного объекта ( $\gamma = 105^\circ$ ). Видно, что в этих условиях элементарная глазодвигательная задача выполняется с трудом и требует свыше 20 с. Траектория движений глаз состоит не из 1—2 саккад, как обычно, а из цепочки скачков, прерываемых плавными поворотами. Пространственная форма траектории движений глаз — закручивающаяся спираль.

#### ОПТИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ПРОЕКЦИИ ОБЪЕКТОВ НА СЕТЧАТКЕ ГЛАЗА

Идея данного метода заимствована из известного в физике принципа построения оптических систем стабилизации проекции объекта на плоскости, меняющей свою ориентацию. Применительно к глазу эффект стабилизации достигается в том случае, когда фокус собирающей линзы, расположенной перед глазом, совмещен с центром вращения глаза. В этом случае любой поворот глаза не изменит положения дефокусированного изображения объектов на сетчатке. Чтобы получить на сетчатке резкое изображение, необходимо укрепить на глаз рассеивающую линзу, фокус которой также находится в центре вращения (рис. 9).

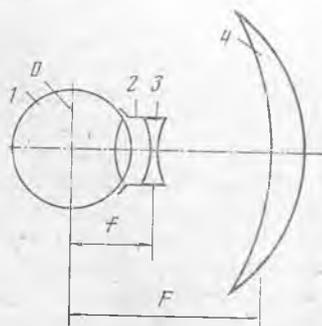


Рис. 9. Схема, иллюстрирующая метод оптической стабилизации изображения объектов относительно сетчатки. 1 — глазное яблоко; 2 — присоска; 3 — отрицательная линза; 4 — положительная линза;  $F, f$  — фокусные расстояния линз

Оптическая система, используемая в наших экспериментах, состоит из отрицательной линзы диаметром 8 и фокусным расстоянием 22 мм, которая крепится к глазу с помощью центральной присоски, и положительной линзы диаметром 38 и фокусным расстоянием 45 мм, установленной на специальной неподвижной относительно головы очковой оп-

раве. Расстояние между положительной линзой и глазом регулируется микрометрическим винтом. После установки и настройки оптической системы испытуемый мог монокулярно наблюдать окружающие объекты, причем размеры их воспринимались несколько увеличенными.

Апробация методики дала следующие результаты. При фиксации светящейся точки в темноте происходит флуктуация воспринимаемой яркости, а иногда и полное исчезновение воспринимаемого стимула. Однако даже при длительном рассматривании реальных объектов в условиях обычной освещенности флуктуация и исчезновение воспринимаемого изображения или его частей отсутствуют.

При произвольном переводе взгляда на неподвижный объект, расположенный эксцентрично, воспринимается его плавное перемещение в сторону периферии поля зрения. Движения глаз в этих условиях имеют выраженную плавную составляющую, прерываемую отдельными скачками (рис. 10, а).

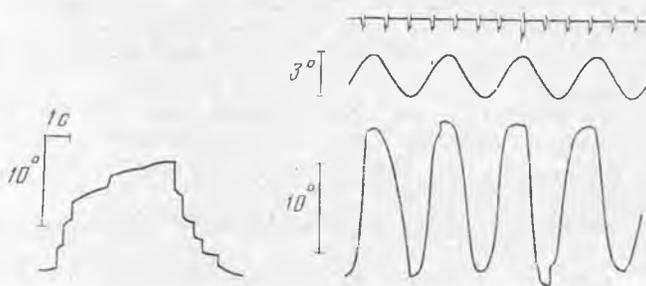


Рис. 10. Записи движений глаз в условиях оптической стабилизации изображения объектов на сетчатке (горизонтальная составляющая).

а — При задаче попеременной фиксации двух точечных неподвижных объектов, б — слежение за светящейся точкой (верхняя запись), находящейся в режиме периодического колебания с амплитудой  $3^\circ$

При прослеживании светящейся точки, находящейся в режиме периодического колебания, движения глаз имеют плавный характер и точно воспроизводят частоту колебания объекта. Амплитуда колебаний глаз и их средняя скорость в несколько раз превосходят соответствующие параметры движения объекта (рис. 10, б).

В целом полученные факты показывают, что данный метод обеспечивает достаточно высокую степень стабилизации изображения объектов относительно сетчатки. Особенность данного метода состоит в возможности передачи окулomotorной функции движениям головы, что позволяет исследовать закономерности различных уровней регуляции движений.

До сих пор мы рассматривали методы, обеспечивающие независимую оптическую трансформацию величины или знака (направления) зрительной обратной связи ГДС. Возможны и комплексные методы трансформации, предполагающие одновременное изменение и знака (направления) и величины зрительной обратной связи, т. е. ее вектора. Они могут быть реализованы с помощью сложных контактных оптических устройств, обеспечивающих многомерную трансформацию проекции объектов на сетчатке. В этом случае необычные особенности движений глаз, как и нарушения зрительного восприятия, могут иметь более сложный характер.

Вышеизложенные методы оптической трансформации зрительной обратной связи ГДС и некоторые результаты их использования доказывают, что можно исследовать широкий спектр процессов регуляции дви-

жений глаз и зрительного восприятия. Вызывая последовательную цепь искажений функционирования ГДС, сенсомоторной интеграции в зрительной системе, взаимосвязей зрительной системы с вестибулярной, соматосенсорной и другими системами, трансформация зрительной обратной связи ГДС выступает как системный метод экспериментального исследования. Свойства, механизм и условия адаптации ГДС, роль ГДС в процессах формирования актуального зрительного образа, закономерности экстрасистемных связей зрительной системы, механизмы деятельности человека — основной круг проблем, которые можно решить, используя методы изменения знака, направления и величины зрительной обратной связи ГДС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Е. А., Вергилес Н. Ю., Ломов Б. Ф. Механизм элементарных движений глаз как следящая система. — В кн.: Моторные компоненты зрения. М., 1975.
2. Зинченко В. П., Вергилес Н. Ю. Формирование зрительного образа. М., 1969.
3. Шахнович А. П. Мозг и регуляция движений глаз. М., 1974.
4. Ярбус А. Л. К вопросу о роли движений глаз в процессе зрения. — Биофизика, 1959, т. 4, вып. 6, с. 757—758.
5. Ярбус А. Л. Роль движений глаз в процессе зрения. М., 1965.
6. Ditchburn R. W. Eye-movements and visual perception. Oxford, 1973.
7. Doesschate I. ten. A new form of physiological nystagmus. — Ophthalmologica, 1954, v. 127, p. 65—72.
8. Fender D. H., Nye P. W. An investigation of mechanisms of eye movement control. — Cybernetic, 1961, v. 1, p. 81—93.
9. Gerrits H. J., Vendrik A. J. H. Artificial movements of stabilized image. — Vision Res., 1970, v. 10, p. 1443—1456.
10. Hedlun J. M., White C. T. Nystagmus induced by visual feedback. — J. Opt. Soc. Amer., 1959, v. 49, p. 729—730.
11. Heywood S., Churcher J. Eye movements and the afterimage. I. Tracking the afterimage. — Vision Res., 1971, v. 11, p. 1163—1168.
12. Holst E. von. Relations between the central nervous system and the peripheral organs. — Brit. J. Anim. Behav., 1954, v. 2, p. 89—94.
13. Howard J. P. Vergence, eye signature, and stereopsis. — Psychon. Monogr. Suppl., 1970, v. 3, p. 201—219.
14. Komoda M. K., Festinger L., Phillips L. J., Duckman R. H., Young R. Some observations concerning saccadic eye movements. — Vision Res., 1973, v. 13, p. 1009—1020.
15. Lusberger S. J., Fuchs A. F., King W. M., Evinger L. E. Effect of mean reaction time on saccadic responses to two-step stimuli with horizontal and vertical components. — Vision Res., 1975, v. 15, p. 1021—1025.
16. Mack A. An investigation of the relationship between eye and retinal image movement in the perception of movement. — Percept., Psychophys., 1970, v. 8, p. 291—298.
17. Marina A. Die relationen des palaeencephalons (edinger) sind nicht bix. — Neurol. Centralbl., B. 34, S. 338—345.
18. Riggs L. A., Tulunay S. U. Visual effects of varying the extent of compensation for eye movements. — J. Opt. Soc. Amer., 1959, v. 49, p. 741—745.
19. Sperry R. W. Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by visual inversion. — J. Comp. and Physiol. Psychology., 1950, v. 43, p. 482—489.
20. Vossious J. Adaptive control of saccadic eye movements. — Bibl. Ophthalmol., 1972, v. 82, p. 244—250.
21. Wallach G., Lewis C. The effect of abnormal displacement of the retinal image during eye movements. — Percept. Psychophys., 1965, v. 1, p. 25—29.
22. Young L., Stark L. Variable feedback experiments testing a sample date model for tracking movements. — I. E. E. E. Trans. Hum. Fact, Electr., 1963, v. HFE-4, p. 38—51.

#### OPTICAL METHODS OF TRANSFORMATION OF VISUAL FEEDBACK

V. A. Barabanshikov, V. I. Belopolskiy, N. Yu. Vergiles

#### Summary

New methods of investigation of human eye movement control system are described which are built on the pinciple of optical distortion of visual feedback.