ГЛАВА III

Исследование движений глаз при решении ручных двигательных задач

В этой главе рассматриваются различные аспекты участия двигательной системы глаз в решении ручных двигательных задач: внешние параметры и формы глазных движений, их роль, условия и факторы, которые на них влияют, принципы, которым они подчиняются, и т. п. При этом ручные двигательные задачи выступают как подкласс более обширного класса задач, названных нами незрительными, или «общими».

О совместных движениях глаз и руки писал еще И. М. Сеченов: «Суть дела в том, что куда идет работающая рука, туда же идут сведенные друг с другом зрительные оси глаз, и та точка, на которой рука остановилась в данное мгновение, есть в то же время точка пересечения остановившихся зрительных осей». И дальше: «Эту форму согласования можно по справедливости назвать случаем предустановленной гармонии ручных и глазных движений, потому что в основе ее лежит, с одной стороны, сходное устройство двигательных механизмов рук и глаз; с другой — жизненная необходимость участия зре-

ния в движениях рук именно в этой, а не в другой форме» (Сеченов, 1952, с. 521—522).

В последующей истории изучения ручных движений случился довольно парадоксальный факт: подавляющее большинство исследователей пошло по пути обсуждения зрительного контроля движений — его роли, степени, механизмов и т. п. — без тонкого учета глазных движений. Пренебрежение специальным изучением движений глаз в контексте двигательных ручных задач, по-видимому, объясняется долгое время существовавшим мнением, которое иногда высказывалось прямо, как это мы видели у И. М. Сеченова, иногда молчаливо предполагалось, — мнением, что если зрение контролирует движение руки, то глаз неотступно следует за ней (см., например, Gould, Shaffer, 1965); если же управление переходит в другую, незрительную, модальность, то глаз «абстрагируется» от руки также двигательно; он не только не следит за рукой, но может быть направлен в совершенно другую сторону («...опытная вязальщица чулок может вязать, не глядя, и даже вязать, читая книгу», — Сеченов, 1952, с. 522).

Развитие знаний в двух независимых областях показало необходимость сделать эти утверждения, основанные на здравом смысле и жизненных наблюдениях, предметом экспериментальной проверки.

Первая область — изучение собственно движений, в частности различных видов их афферентации. Например, было показано, что зрение может контролировать не все движение целиком, а лишь отдельные его компоненты, деля эту функцию с «афферентными синтезами» других модальностей; что зрительный контроль может быть не только непрерывным, но и дискретным, что он может не только «сопровождать», но и «опережать» движение руки и т. п. (Бернштейн, 1947; Craik, 1947; Vince, 1948; Welford, 1968; Бережная, 1968; Рокотова и др., 1971).

Другая область принадлежит к психофизиологии восприятия. Здесь, наоборот, учитывались движения глаз и широко обсуждалось их участие в восприятии движущегося объекта (правда, объекта внешнего, а не собственной руки). В частности, было показано, что восприятие как самого факта движения, так и отдельных его параметров — скорости, направления и т. п. — может осуществляться не только в режиме глазодвига-

тельного прослеживания, но и относительно неподвижным глазом. В последнем случае оценка производится на основе сигналов от пересечения сетчатки движущимся стимулом (Brown, 1931; Глезер, 1959, 1966; Юнг, 1969; Любимов, 1973).

Все сказанное, конечно, не могло не привести к выводу, что случаи «гармоничного» соответствия не исчерпывают всех форм совместных движений глаз и руки и что формы эти гораздо более разнообразны. Однако систематически этот вопрос до сих пор не изучен. Нам известны лишь единичные работы, в которых производились регистрация или учет движений глаз при решении ручных двигательных задач.

В работе Е. К. Бережной (1968) было показано, что при некоторых двигательных задачах глаза не следят за рабочей точкой руки.

Рокотова и другие (1971) описали закономерное возникновение скачка глаз до предстоящего движения руки. В их экспериментах испытуемые совершали серию переносов руки на тумблеры, с которыми производились манипуляции.

Несколько раньше В. Хаккер произвел регистрацию движений глаз и руки при попадании кончиком карандаша в цель, изображенную на листе бумаги (Hacker, 1965, 1973). Он показал, что скачки глаз могут появляться как до, так и после начала движения руки.

Митрани и другие осуществили регистрацию движений глаз во время рисования заданных фигур (Mitrani et al., 1970; Митрани, 1973). Они обнаружили скачкообразные движения глаз, сопровождающие относительно плавное движение руки. При этом точность рисования не зависела от количества скачков.

Фестингер и Кэнон нашли, что указательный жест руки осуществляется более точно, если глаза перемещаются на цель скачком, по сравнению с плавным движением (Festinger, Cannon, 1965).

Ряд авторов показал, что при использовании оптических искажающих призм зрительно-моторные координации восстанавливаются в результате изменения чувства положения собственных глаз в орбите (см. обзор Harris, 1965).

Мы еще будем иметь случай подробно обсудить некоторые из названных работ. Здесь же заметим, что их

перечень невелик, а полученные факты достаточно разрозненны.

Обсуждение движений глаз при организации ручных движений должно, по-видимому, начинаться с определения общего места и функций движений глаз в структуре соответствующей деятельности. Мы уже касались этих вопросов во введении. Конкретизируем их применительно к решению ручных двигательных задач.

При решении двигательных задач движения руки выступают в роли основных действий. Если для организации и осуществления этих движений необходима зрительная информация, то в работу вовлекается зрительная система. В этих случаях она оказывается в подчинении у более общей системы. Образно говоря, зрительная система получает заказ от системы управления движением руки на выполнение тех или иных зрительных операций. Каковы эти операции, в какие моменты они осуществляются, с какой мерой точности — все это определяется характером двигательной задачи и условиями ее решения.

Движения глаз сохраняют свою основную функцию — обслуживать прием и переработку зрительной информации и здесь. Они происходят в тот момент и в такой форме, которые необходимы для ввода нужной информации. Иными словами, они подчинены собственно зрительным процессам. А поскольку эти последние зависят от основных, ручных, действий, то движения глаз выступают в роли операций операций, или *операций второго порядка.*

Таким образом, характер отношений между движениями глаз и руки можно определить как *зрительно опосредствованное взаимодействие движений обоих органов.* Этот тип отношений должен учитываться при анализе конкретных экспериментальных данных: объяснение движений глаз возможно только при условии рассмотрения зрительных операций, а эти последние могут быть поняты лишь через анализ основных действий.

Именно по такому пути анализа мы шли в исследованиях, представленных в этой главе. Наша *первая задача* — убедиться в правильности и эвристической ценности принципа зрительно опосредствованного взаимодействия двигательных систем глаз и руки.

Этот принцип не является единственным. В первой главе мы познакомились с возможностью *непосредст-*

венного согласования движений обоих органов (см. § 1.4). Однако оно изучалось в условиях узкой задачи: следить глазами за рабочей точкой руки. Распространяется ли этот тип взаимодействия также на более широкий круг естественных задач, в частности на ручные двигательные? Заранее ответа на этот вопрос мы не имели. Поиски ответа составили нашу *вторую задачу.*

Наконец, *третья задача* возникла из тех соображений, что в общих задачах, и в том числе двигательных ручных, перцептивные процессы протекают в скрытой, или неосознаваемой, форме. Особенно это имеет место при непрерывной зрительно афферентируемой деятельности. В таких случаях сознание человека занято организацией и осуществлением основных действий, непрерывно следующих одно за другим. Зрительные же процессы образуют как бы их перцептивную подслойку, не выходя на уровень сознания. Примеры здесь очень разнообразны: это тонкие зрительно контролируемые ручные операции, локомоции в сложных условиях, управление движущимся объектом и т. п. То, что при этом имеет место непрерывная работа зрительной системы, следует, по крайней мере, из характера и результатов действий: они соотнесены с пространством, обнаруживают непрерывный учет оптических свойств окружения и т. п.

Что мы еще можем сказать об этих перцептивных процессах? Каковы их свойства, характер, содержание? К сожалению, психология восприятия располагает на этот счет очень скудными сведениями. К тому же они носят в основном характер предположений или допущений. Причина — методическая сложность задачи. Традиционные источники сведений — самонаблюдение и отчет испытуемого — здесь неприменимы. Приходится ограничиваться исключительно анализом продуктивной стороны деятельности и строить на этом основании умозаключения о свойствах перцептивных процессов.

Однако метод «умозаключения» о функционировании зрения по продукту деятельности имеет свои трудности. Они определяются участием в деятельности других систем (а в «общих» задачах — в первую очередь других систем) помимо зрительной. Поэтому существует проблема разведения вклада в результат деятельности зрительной и других функциональных систем.

Эта важная методическая проблема давно осознана в психологии восприятия и сформулирована как потенциальная опасность принятия свойств «системы ответа» за свойства перцептивной системы. Для ее решения предложены лишь отдельные экспериментальные процедуры (см., например, Garner et al., 1956). Однако они предполагают специальную последовательность задач и действий испытуемого и неприменимы к исследованию естественных видов непрерывной деятельности.

На наш взгляд, в этой ситуации можно ждать большой помощи со стороны метода регистрации и анализа движений глаз. Будучи столь же объективным процессом, что и внешние действия субъекта, они в то же время гораздо ближе стоят к зрительному восприятию и менее осложнены дополнительными факторами. Исходя из этих соображений, мы поставили перед собой задачу использовать параллельную регистрацию движений глаз как дополнительный методический прием изучения скрытых форм зрительного восприятия.

Глава состоит из трех параграфов. В первом параграфе (3.1) рассматривается участие движений глаз в организации точностных движений руки и обсуждаются намеченные выше принципы организации совместных движений. Два других параграфа (3.2 и 3.3) посвящены анализу движений глаз при решении задачи компенсационного слежения. Процесс решения такой задачи является примером непрерывной зрительно афферентируемой деятельности.

§ 3.1.
ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТОЧНОСТНЫХ ДВИЖЕНИЙ РУКИ

В этом параграфе рассматриваются двигательные задачи, предполагающие одноактное или единичное действие — попадание рабочей точкой руки в цель. Движения этого типа отнесены Н. А. Бернштейном к уровню синтетического пространственного поля «С». Они описываются как «движения прицеливания», для кото-

рых существенно необходим зрительный контроль (1947).

Методикой экспериментов (Буякас и Гиппенрейтер, 1973) предусматривалось варьирование факторов, которые должны были повлиять (прямо или косвенно) на афферентацию движения и, следовательно, на движения глаз. Первым фактором был задаваемый способ движения: испытуемому предлагалось попасть в цель либо *баллистическим* движением — броском, либо движением, *корректируемым* по ходу. Такие способы решения формально одной и той же задачи определяли различные уровни построения движений: в первом случае это был подуровень C_1, во втором — подуровень C_2 (по Бернштейну). Второй переменной были внешние, оптические условия, а именно место появления цели в поле зрения: цель могла появиться либо в фовеальной зоне, либо за пределами ее.

Обстановка опытов была аналогична описанной в § 1.4. Испытуемый держал рукоятку, которая была «жестко» связана со световой точкой на экране: движение рукоятки в горизонтальном направлении вызывало смещение точки в ту же сторону без запаздывания. Амплитудные отношения между движениями рукоятки и точки были заранее освоены испытуемым. Таким образом, точку на экране можно было рассматривать как рабочую точку руки испытуемого. Исходному, центральному положению рукоятки соответствовало положение точки в центре экрана. Справа или слева от точки в случайном месте горизонтальной оси периодически высвечивалась цель, в которую должен был попасть испытуемый рабочей точкой с помощью рукоятки. Диапазон предъявления цели составлял 0—3,5°.

Для баллистического движения испытуемому давалась инструкция: «бросьте рукоятку, как бросаете камень в цель».

Корректируемое движение не ограничивалось во времени; разрешались поправки, однако только по ходу движения — без возвратов. Таким образом задавался способ «плавного подвода» рабочей точки к цели.

До появления цели испытуемому предлагалось фиксировать точку (в центре экрана). С момента появления цели эта инструкция, естественно, отменялась.

В опытах участвовали 5 испытуемых, с каждым из которых было проведено по нескольку десятков проб на каждое условие.

Как показали *опыты с баллистическим* движением, движения глаз имели существенно различный характер при появлении цели в зоне фовеального (0—1°) и парафовеального зрения (1—3°). Назовем для удобства первый диапазон «малым», второй — «большим».

На рис. 23,*А* и *Б* приведены типичные записи движений глаз и руки при появлении цели в *малом* диапазоне. В первом случае *(А)* цель появилась слева от точки фиксации, во втором *(Б)*— справа.

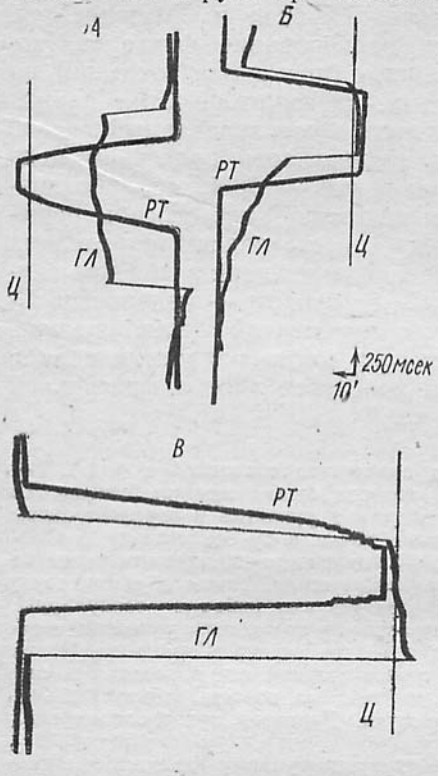

Рис. 23. Движения рабочей точки руки (*РТ*) и глаз (*ГЛ*) при задаче попасть в цель (*Ц*) баллистическим движением:
А — малый диапазон, против дрейфов ФН;
Б — малый диапазон, по дрейфам ФН;
В — большой диапазон

В обоих случаях видно *опережающее движение глаз*. Однако влево оно происходит в форме скачка, вправо— в форме дрейфа. Такой асимметричный способ движения глаз типичен для данной испытуемой. Он оказался связан с асимметрией дрейфов ФН: испытуемая правосторонняя, и плавные движения глаз вправо наблюдаются у нее постоянно при фиксации точки. Однако скорость «активных» дрейфов, т. е. дрейфов, включенных в организацию движения руки, значительно больше скорости дрейфов ФН и составляет 15′/с (по сравнению с 5—6′/с).

Обращает на себя внимание место остановки глаз до начала движения руки. Независимо от того, скачок это или дрейф, глаза останавливаются в некоторой промежуточной позиции между исходным положением рабочей точки и цели.

Наконец, интересны временные соотношения между движениями глаз и руки. Обозначим через *Т* общее время реакции — период с момента появления цели до начала движения руки. Поскольку глаз опережает движение руки, то его движение делит это время на два

отрезка: t_1 — период с момента появления цели до начала движения глаз и t_2 — период от начала движения глаз до начала движения руки (очевидно, что $T=t_1+t_2$). Данные опытов показали, что при появлении цели в малом диапазоне значения t_1 и t_2 распределялись в среднем следующим образом: $t_1=350$ мс; $t_2=900$—1000 мс (табл. 3—1). Это значит, что основная часть работы по организации движения руки приходится на период после скачка глаз (или после начала дрейфа).

Таблица 3—1

ВРЕМЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ (в мс) ПЕРИОДОВ t_1 и t_2 В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ

(средние данные по всем испытуемым)

Диапазон и способ движений глаз	Интервал		
	цель—движение глаз (t_1, мс)	движение глаз—движение руки (t_2, мс)	цель—движение руки ($T=t_1+t_2$)
Малый 0—1°:			
скачок	350	1000	1350
Дрейф	350	900	1250
Большой 1—3°:			
скачок	900	250	1150

Попробуем дать себе отчет, в чем заключается эта работа и как она связана с движением глаз. Очевидно, что зрительная система должна обеспечить систему управления движением руки сведениями о предстоящей амплитуде движения. Эти сведения должны поступить своевременно до движения руки, поскольку движение баллистическое и условиями задачи не допускаются поправки. Адекватной информацией в условиях рассматриваемой задачи является расстояние между рабочей точкой руки и целью. Оценка расстояния и производится, по-видимому, в период t_2. Записи движений глаз показывают, что в этот период глаза либо неподвижно фиксируют среднюю область интервала между рабочей точкой руки и целью, либо медленно дрейфуют в той же области. Это говорит о том, что оценка расстояния производится путем «наложения» оперативного поля зрения на пространственный интервал («масштабный» способ работы сетчатки, по Э. Герингу, 1887). Центрация глаз создает наиболее выгодное расположение обеих значимых точек (рабочей точки и цели) в поле фовеаль-

ного зрения. Мы уже сталкивались с аналогичной центрацией глаз при решении задачи на сравнение отрезков (см. § 2.2), однако в той задаче наблюдались повторяющиеся мелкие скачки в средней области отрезков. Отсутствие здесь таких скачков можно объяснить меньшей допустимой точностью оценки расстояния: как показали эксперименты, ошибки движения руки могли составлять 0,1—0,15 заданной амплитуды, в то время как порог различения отрезков находился в зоне 0,03—0,05 их длины.

Случаи плавного перехода глаз в форме дрейфа при появлении цели со стороны, совпадающей с направлением дрейфов ФН, показывают, что целесообразная моторная тенденция к центрации глаз может суммироваться с непроизвольной активностью глазодвигательных центров и в результате реализоваться в движениях видоизмененной формы. С таким явлением мы также встречались ранее, например при задаче перевода взора в диапазоне нескольких угловых минут (см. § 1.3).

При предъявлении цели в *большом* диапазоне глаза вели себя иначе. Хотя и здесь они производили опережающий скачок, однако место его завершения и время его начала были другими.

На рис. 23,*В* приведена типичная запись движения глаз и руки при появлении цели в большом диапазоне. Видно, что скачок глаз происходит на цель, т. е. в то место, куда должна попасть рабочая точка руки. Начало скачка значительно отставлено от момента появления цели, а движение руки, наоборот, следует вскоре после завершения скачка. Точные количественные данные значений t_1 и t_2 приведены в табл. 3—1 (нижняя строка). Видно, что для большого диапазона распределение длительности периодов t_1 и t_2 обратно тому, которое наблюдалось в малом диапазоне, при приблизительно одинаковых значениях общего времени T. В целом эти результаты совпали с данными Н. А. Рокотовой и др. (1971), за исключением того, что в указанной работе сообщается о еще меньшей величине t_2 (150—170 мс).

Какой процесс в зрительной системе стоит за описанным способом движений глаз? Какова роль этих движений в организации движения руки?

Прежде чем ответить на эти вопросы, заметим, что лабораторные данные — и других авторов, и наши —

подтверждаются наблюдениями в более широких и разнообразных естественных условиях. Хорошо известно, что прежде чем совершить бросок в цель, человек пристально фиксирует цель глазами. Так поступает, например, баскетболист, готовясь к штрафному броску мяча по корзине. Аналогичное поведение наблюдается и у животных: готовясь к прыжку, хищник не сводит глаз со своей жертвы.

Итак, какова же функция опережающего скачка (или опережающей фиксации) глаз? Обсуждая этот вопрос, Н. А. Рокотова и другие (1971) высказывают мнение, что движение взора обеспечивает «получение предварительной зрительной информации» (по терминологии Гатева, 1964) с того места, куда направлено движение руки. Такое объяснение кажется вполне правдоподобным, а главное, соответствующим общепринятому убеждению, что если глаза куда-то и смотрят, то только для того, чтобы там что-то увидеть или, иначе говоря, получить зрительную информацию. Попробуем, однако, дать себе отчет, какая зрительная информация может иметься в виду в обсуждаемых случаях. Может быть, это информация о предполагаемых изменениях цели, которые имеют значение для предстоящего движения? Например, хищник пристально фиксирует жертву потому, что к началу прыжка хочет быть уверен, что она все еще на месте. Такое объяснение вполне правдоподобно, однако его нельзя распространить на все случаи точностных движений. Часто целью движения является неодушевленный предмет или место, в котором не предполагается никаких изменений. Кроме того, приведенные значения t_2 для большого диапазона никак не согласуются с предположением о «выжидательной» тактике глаз: время для этого слишком мало́.

Может быть, глаза заранее готовятся к восприятию результата движения, чтобы обеспечить срочные сигналы коррекции, если движение окажется неточным? Однако и это предположение звучит малоубедительно. Во-первых, для указанной задачи скачок не должен происходить заранее: даже начавшись одновременно с движением руки, саккадическое движение глаз ввиду его большей скорости завершилось бы на цели раньше. Во-вторых, описываемое опережение взора́ наблюдается при баллистических движениях, коррекция которых либо не предусматривается, либо вовсе исключена (как

в случае броска камня). Наконец, как раз при корректируемых целевых движениях глаза ведут себя совершенно иначе, что мы опишем несколько ниже в этом параграфе.

Рассмотрим еще одно предположение. Кажется очевидным, что для того, чтобы попасть в какое-то место, нужно ясно увидеть это место. По всей вероятности, скачок и служит этой цели: он обеспечивает получение зрительной информации о месте цели. Такое объяснение звучит наиболее убедительно, но именно оно опровергается фактами, полученными в уже упоминавшихся опытах Л. Фестингера и Л. Кэнона. Напомним, что в этих опытах испытуемый точно указывал на световую цель в полной темноте, если его взор переводился на эту цель скачком; если же глаза подводились к цели плавным движением, то указательный жест оказывался менее точным. Совершенно очевидно, что зрительное восприятие места цели не зависело от способа, которым глаза попадали в это место. Значит, дело не в зрительной информации о месте цели, или, по крайней мере, не только в ней.

Можно, наконец, предположить, что скачок глаз осуществляет двигательное «промеривание» расстояния между рабочей точкой руки и целью, в результате чего в систему управления движением руки вводятся сигналы от амплитуды скачка. Это предположение, подсказываемое моторной теорией восприятия, также опровергается фактами. Так, в наших опытах бывали случаи, когда глаза совершали скачок на цель не из центральной позиции, а с места предъявления предыдущей цели, если вторая цель давалась через достаточно короткий интервал после первой. В таких случаях амплитуда скачка глаз была иной, чем та, на которую должна была сдвинуться рука, но и в этих случаях попадание в цель было точным.

Ответить на вопрос о функции опережающего скачка помогает представление о глазе как о двигательном органе. При точностных движениях руки в большом диапазоне он выступает именно в этом качестве. Как всякий двигательный орган, глаз имеет представительство в схеме тела. В эту схему введена его рабочая точка — конец зрительной оси. Когда зрительная ось направлена на цель, она вводит в схему тела также и цель. В результате задача попадания рукой в цель сводится

к *согласованию,* или *координации,* движений двух рабочих органов: глаз и руки.

Чтобы пояснить этот механизм, воспользуемся аналогией из области организации движений двух рук. Предположим, что перед нами стоит задача попасть с закрытыми глазами указательным пальцем в заданную точку стола. Единственный способ решить ее с большой точностью — это прибегнуть к помощи пальца другой руки: поместив последний в заданную точку, мы получаем точное «знание» того места, куда нужно совершить движение. Очевидно, что в этом случае решение поставленной задачи сводится к координации движений двух пальцев. То же происходит и при попадании рукой в цель, только в роли пальца, указывающего на цель, выступает зрительная ось.

Рассмотренный выше факт из работы Л. Фестингера и Л. Кэнона позволяет предположить, что согласование движений глаз и руки происходит посредством учета двигательной системой руки эффекторных команд к движению глаз, а следовательно, и их прогнозируемого финального положения. Ведь проприоцептивные сигналы сообщают о положении глаз независимо от способа, которым они заняли эту позицию: скачком или плавным движением. Обе указанные формы движений отличаются лишь тем, что в первом случае формируются активные сигналы о будущем положении глаз, во втором же такие сигналы отсутствуют. Следовательно, основная работа по подготовке точностного движения руки совершается в период подготовки скачка глаз: формирование точных эффекторных команд к скачку составляет неотъемлемую часть процесса организации движения руки. Именно повышением требования к точности скачка объясняется удлинение периода t_1 в большом диапазоне по сравнению с малым (см. табл. 3—1).

Итак, основу организации точностного баллистического движения в большом диапазоне составляет функционирование той же двигательной синергии глаз — рука, с которой мы уже встречались при исследовании глазного слежения за самоуправляемой целью (см. § 1.4). Разница состоит лишь в том, что в задаче слежения «ведущим» органом была рука: эффекторные команды к ее движению включались в организацию движений глаз. В задаче же точностного попадания наблюдаются обратные отношения: здесь глаз «ведет» ру-

ку, посылая эффекторные команды к скачку в двигательную систему руки.

Насколько в условиях точностного движения руки необходим скачок глаз, показывают следующие дополнительные пробы.

Испытуемому, как и в только что описанных опытах, предлагалось попасть рабочей точкой в цель, однако при этом давалась дополнительная инструкция: все время фиксировать точку глазами, «не покидая» ее ни до, ни во время движения.

Выше, в § 1.4, мы видели, что в случае свободных движений руки, т. е. движений, не соотнесенных с метрикой внешнего пространства, инструкция прослеживать рабочую точку выполнялась с большой точностью (см. рис. 11, 12 — первый режим). В условиях же точностного движения руки она противоречила «естественному» поведению глаз, поскольку содержала в себе запрет опережающего движения.

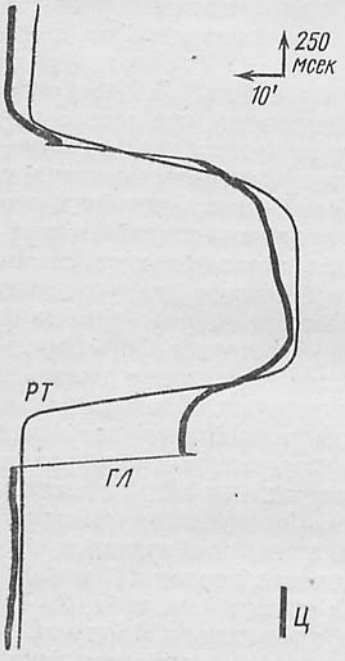

Рис. 24. Запись движений рабочей точки руки (*РТ*) и глаз (*ГЛ*) при задаче попасть баллистическим движением в цель (*Ц*) и одновременно отследить рабочую точку глазами

На рис. 24 приведена запись руки и глаз в пробе с дополнительной глазодвигательной инструкцией. Видно, что, несмотря на инструкцию, перед движением руки глаза «оставляют» рабочую точку, совершая опережающий скачок, и только в конце движения руки как бы спохватываются и восстанавливают отслеживание точки. Эти пробы интересны тем, что показывают невозможность осуществления глазодвигательных действий в условиях, когда движения глаз не свободны от своей более прямой функции (обслуживания зрения): последняя берет верх.

Рассмотрим, наконец, *результаты опытов с корректируемыми движениями руки.* На рис. 25 приведены образцы соответствующих записей. Они различаются

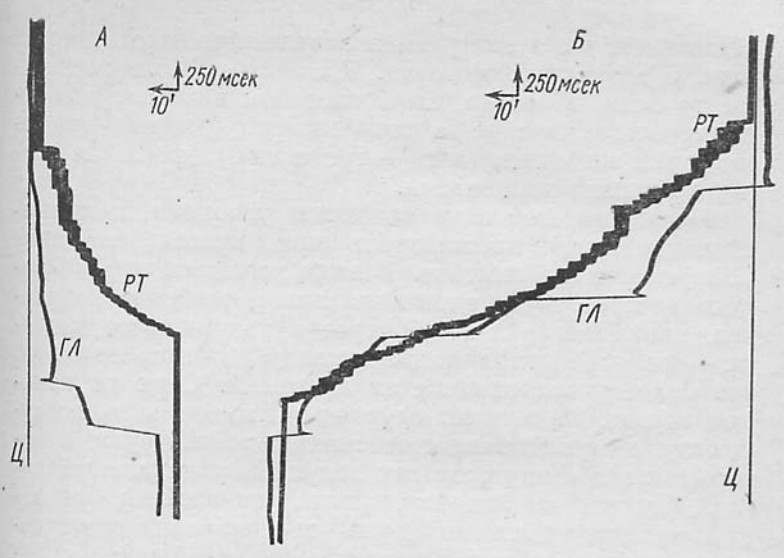

Рис. 25. Две записи движений рабочей точки руки *(РТ)* и глаз *(ГЛ)* при задаче попасть в цель *(Ц)* корректируемым движением

характером движений глаз на первом участке пути: в варианте *А* глаза сразу отходят от рабочей точки скачком, опережая ее движение (количество таких случаев составило 60%); в варианте *Б* они часть пути прослеживают рабочую точку (40% случаев). Однако на втором этапе в варианте *Б* глаза ведут себя приблизительно так же, как и в варианте *А*: они совершают опережающий скачок, который заканчивается фиксацией некоторой промежуточной точки (иногда сопровождающейся дрейфом в сторону цели), затем скачок повторяется, и снова глаза могут остановиться еще до цели.

Примечательно, что когда рабочая точка достигает места окончания предшествующего скачка, в движении руки наблюдается либо замедление скорости, либо кратковременная остановка. Между такими точками рука движется с равномерной скоростью. Этот факт, повторяющийся закономерно на всех записях, как нам кажется, проливает свет на функцию движений глаз. Последняя состоит в расстановке своеобразных «меток», до которых разрешается быстрое движение руки.

Напомним, что в инструкции запрещался переход через цель и возврат руки назад. Кратковременные остановки до цели, вероятно, были способом контроля выполнения этого условия, а относительно быстрые движения руки в промежутках — средством сокращения времени решения всей задачи.

Нечто похожее и по заданным условиям, и по манере движения наблюдается при проведении линий рейсфедером по линейке. В этих условиях, когда «переход» через точку окончания линии особенно неприятен, движение руки — быстрое и размашистое вначале — по мере приближения к концу дробится на серию все более укорачивающихся движений. Судя по записям на рис. 25, в таких случаях мы имеем дело, по существу, с серией баллистических движений руки, в которых глаза выступают как ведущий двигательный орган. Своими последовательными движениями они задают метрику движений руки и только на заключительном этапе при непосредственном приближении рабочей точки к цели переходят к осуществлению собственно зрительных функций. На рис. 25,*А* видно, что они плавно приближаются к цели, все время находясь между целью и рабочей точкой. Можно считать, что за этим движением стоит непрерывный контроль сближения двух точек. Что касается прослеживающих движений глаз в начале пути рабочей точки, то вряд ли можно предположить за ними важную функцию: во-первых, на этом этапе требование к точности движения еще невелико; во-вторых, часто наблюдается другой тип поведения глаз.

Итак, при организации корректируемых движений наблюдается смешанный тип работы глаз: их движения то выступают в качестве компонента двигательной синергии, то переходят на обслуживание зрительного контроля за рабочей точкой руки.

Подводя итоги изложенных экспериментов, можно отметить несколько установленных в них фактов и положений. *Во-первых,* фазические движения глаз проявили себя как полноценные образующие деятельности: изменения способов и внешних условий организации движения руки влекли за собой перестройку двигательного поведения глаз.

Во-вторых, предположение о том, что отношения между движениями глаз и руки опосредствуются работой собственно зрительных механизмов, помогло объяснить некоторые из наблюдавшихся форм движений глаз. Можно думать, что быстрый, с небольшим латентным периодом скачок глаз в промежуточную позицию между рабочей точкой и целью в малом диапазоне связан с подготовкой зрительной работы — центрацией оперативного поля зрения относительно полезных сигналов. Повышенная длительность фиксации в промежуточной позиции объясняется происходящей во время нее оценкой расстояния между точками, причем неподвижность глаз свидетельствует о «масштабном» способе этой оценки. Отсутствие мелких скачков позволяет предположить, что допустимая точность оценки расстояния в этих условиях не является предельной для зрительной системы. Изменение характера движений глаз при переходе к движениям в большом диапазоне объясняется выходом цели за пределы оперативного поля зрения, соответствующего оценке расстояния с заданной точностью.

В-третьих, выявлен еще один тип участия движений глаз в организации точностного движения руки, при котором глаз вступает в непосредственное двигательное взаимодействие с рукой.

В-четвертых, показана возможность смешанного типа работы глаз: в пределах одного и того же действия функция их движений может переходить от обеспечения работы зрения к непосредственному «руководству» ручными движениями.

§ 3.2.
ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА РУЧНОГО СЛЕЖЕНИЯ

Задачи ручного слежения широко распространены в работе человека-оператора. С теоретической точки зрения они принадлежат к важному и интересному классу задач, решение которых представляет собой непрерывный процесс зрительно афферентируемой деятельности.

В исследованиях процесса слежения существует несколько различных подходов. Один из них — технический, или кибернетический, где оператор рассматривается как один из блоков системы управления (Jex, Young, Green, 1964; Mc Donnell, 1966; Slotnick, 1969). К этому кругу работ примыкают практически ориентированные исследования, задача которых — изучить факторы, влияющие на эффективность работы оператора (Poulton, 1952; Conklin, 1957; Adams, 1961; Senders, 1964; Baty, 1969).

Другое направление, собственно психологическое и психофизиологическое, представлено сравнительно меньшим количеством работ. Часть из них характеризуется усиленным вниманием к моторным аспектам слежения. Вместе с обсуждением в целом состава и организации ручной деятельности в них рассматриваются такие параметры этой деятельности, как время реакции, частота и характер движений, длительность пауз и т. п. (Taylor, Birmingham, 1948; Chernikoff, Taylor, 1952; Водлозеров, 1964; Pew, 1966; Keele, Posner, 1968; Senders, 1968). Многие исследователи отмечают наличие разных фаз и разных способов решения задачи слежения, отличающихся использованием разных параметров движения цели (координатного рассогласования, скорости, предсказанной траектории), участием в переработке этой информации различных сенсорных и перцептивных систем: зрительной, кинестетической и т. п.

Например, в работах Б. Ф. Ломова (1967), Б. Ф. Ломова и В. М. Водлозерова (1968) делается вывод о наличии двух этапов в процессе слежения—преследования равномерно движущейся цели. Первый этап представляет собой период ориентировки: оператор приспосабливается к масштабным отношениям движения руки и цели (передаточной функции). Управление здесь ведется по контуру «глаз—рука», и для построения движения используется информация о рассогласовании метки и цели. На втором этапе управление осуществляется на основе внутреннего образа, в котором существенная роль принадлежит сигналам кинестетической модальности. На долю зрительной системы остается лишь функция контроля.

Наличие разных способов деятельности на разных этапах решения задачи слежения отмечают и другие авторы (Poulton, 1952; Adams, 1961; Суходольский,

1964; Милерян, 1965). Тем не менее сведения о строении деятельности, а также о характере включенных в нее перцептивных процессов остаются гипотетичными. Применяемые методы анализа позволяют определенно судить только о ручных операциях, что же касается афферентации и регуляции процесса решения задачи, то об этом строятся лишь более или менее обоснованные умозаключения.

Мы попытались присоединить к анализу работы оператора в задаче ручного слежения также и регистрацию движений глаз, полагая, что одновременное рассмотрение трех процессов — движения цели, руки и глаз — позволит получить более определенные сведения о составе деятельности слежения и процесса ее зрительного перцептивного обеспечения (Буякас, 1973).

Опыты проводились в ситуации одномерного компенсационного слежения. На экране осциллографа испытуемому предъявлялась цель, которая под влиянием внешнего воздействия совершала непредсказуемые движения по горизонтальной оси. Внешнее воздействие задавалось низкочастотным генератором шума. Частотная характеристика шума лежала в пределах 0—1 гц; угловая скорость перемещения цели (под влиянием шума) не превышала 2°/с; средняя ее величина находилась в области 0,4—0,8°/с; амплитуда колебаний — в пределах 3°. Испытуемый с помощью ручного манипулятора мог влиять на движение и положение цели. Соотношение масштабов движения рукоятки и цели было подобрано так, что из любой точки горизонтальной оси испытуемый мог движением рукоятки установить цель в центре экрана.

Перед испытуемым ставилась задача удерживать цель посредством манипулятора в центральной зоне экрана с допустимым разбросом ±15 угл. мин. Центр экрана был обозначен точечной меткой, зона допустимого отклонения — двумя дополнительными метками.

Работа испытуемых исследовалась в двух режимах:

1) «безынерционном» — смещению рукоятки соответствовало пропорциональное смещение цели без запаздывания (режим I);
2) «инерционном» — резкое смещение рукоятки приводило к пропорциональному смещению цели с запаздыванием: цель начинала двигаться с некоторой постоянной скоростью (пропорциональной амплитуде смещения рукоятки) и достигала конечного положения спустя 2 с (режим II).

Предварительно испытуемые тренировались с целью освоения режимов работы.

В эксперименте участвовали 5 испытуемых.

Рассмотрим результаты для *первого режима*. На рис. 26 приведены типичные образцы записей движения руки, цели и глаз. На рисунке представлены следующие типы движений руки: (1) неподвижное состоя-

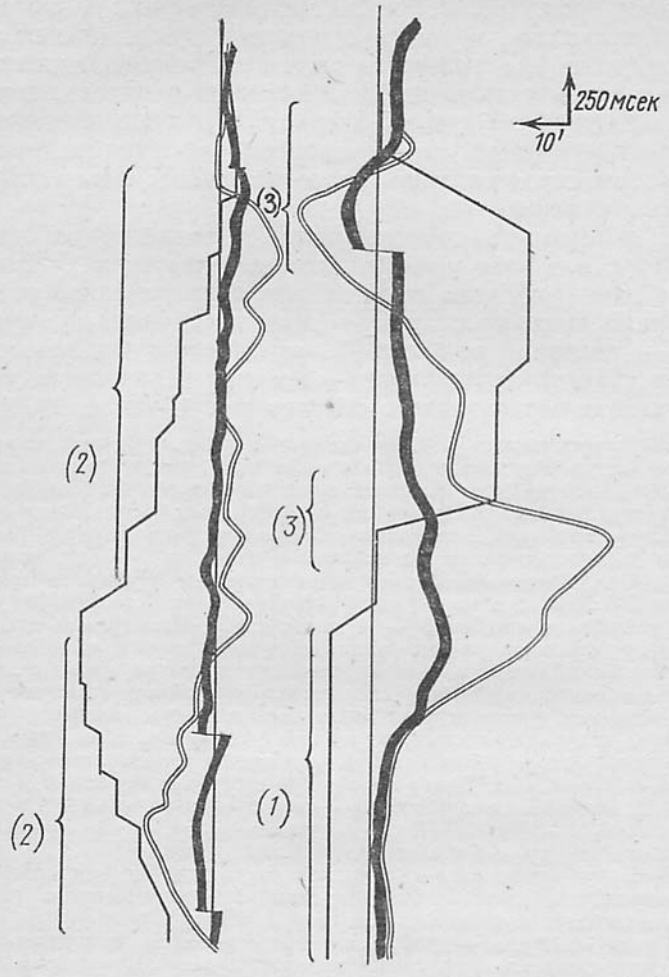

Рис. 26. Две записи движений рукоятки, цели и глаз при решении задачи ручного слежения в *I режиме.*

Тонкая линия — рука, двойная линия — цель, жирная линия — глаз. Вертикальной линией обозначен центр зоны

ние (когда цель пребывает у центра зоны); (2) серия небольших последовательных движений в одну сторону (ликвидация относительно медленного выхода цели из зоны); (3) быстрое одиночное движение (ликвидация

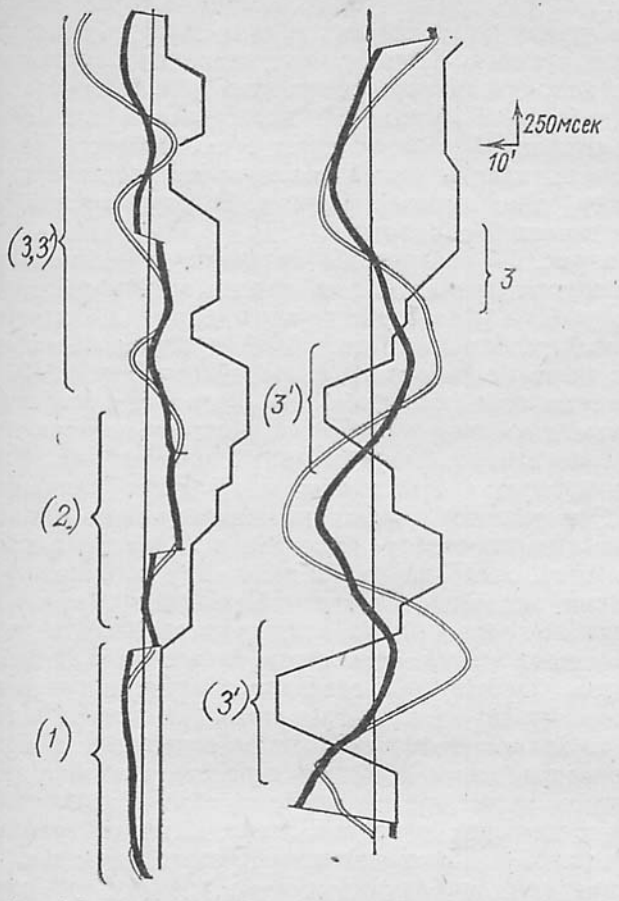

Рис. 27. Две записи движений рукоятки, цели и глаз при решении задачи ручного слежения во *II режиме.*
(Обозначения те же, что и на рис. 26)

быстрого ухода цели из зоны). Перечисленными типами движений практически исчерпывались «тактики» работы оператора. На записях видно моментальное действие рукоятки на цель[1], что является следствием характера передаточной функции в первом режиме.

Траектория движения глаз относительно цели отли-

[1] Следует учесть, что на записи сдвиг рукоятки в одну сторону приводит к сдвигу цели в противоположную сторону.

чается следующими особенностями. Глаза в периоды покоя рукоятки точно отслеживают цель. В периоды работы рукоятки точное отслеживание прекращается: глаза находятся преимущественно вблизи центра зоны. Ввиду большей суммарной длительности периодов работы рукояткой по сравнению с периодами покоя плохое отслеживание глазом цели представляет типичную картину для первого режима. Это подтверждается и статистической обработкой.

На рис. 27 приведены типичные образцы записей для *второго режима*. Здесь можно видеть те же «тактики» работы рукояткой: периоды покоя (1), серии мелких последовательных движений в одном направлении (2) и быстрые движения большой амплитуды (3). Обращает на себя внимание дополнительная особенность: быстрые движения обычно встречаются парами, второе движение следует через малый промежуток времени после первого и противоположно ему по направлению (3′). Эту тактику парных движений можно объяснить стремлением оператора быстрее остановить и «завернуть» цель, выходящую из зоны. Как отмечалось при описании методики, амплитуда движения рукоятки в начальный период прямо влияет на скорость цели. Поэтому имеет смысл произвести движение большей амплитуды, чем это требуется для возврата цели в нуль, и затем противоположным движением погасить выход цели из зоны в противоположную сторону, т. е. создать на короткое время бóльшую скорость воздействия.

Теперь рассмотрим поведение глаз в этом режиме. В периоды покоя рукоятки глаза, как и в первом режиме, точно отслеживают цель. Однако такое же отслеживание цели наблюдается и во время серий мелких последовательных движений, что не имело места в первом режиме. В периоды быстрых движений соответствие движений глаз и цели несколько меньше, но все же лучше, чем в первом режиме. Таким образом, в целом второй режим отличается от первого бóльшим соответствием траекторий глаз и цели по координате и скорости. Этот результат также подтвержден статистически (Буякас, 1973).

Для анализа причин описанного поведения глаз в обоих режимах обратимся к анализу различий в условиях основных действий. Главное содержание этих различий, на наш взгляд, состоит в том, что в первом ре-

жиме имеется дополнительный источник информации о движении цели: ввиду жесткой связи рукоятки с целью информация о движении цели здесь могла поступать не только через зрительную систему, но и от самих движений руки.

Во втором режиме ввиду запаздывания влияния рукоятки на цель связь движений руки и цели не была столь однозначной (в период запаздывания мог вмешаться шум) и знание об изменениях траектории и скорости цели оператор вынужден был получать преимущественно через зрительную систему. Таким образом, функциональная роль зрения во втором режиме была существенно большей. Это отразилось на работе глазодвигательной системы. Отсутствие слежения глазами за целью в периоды работы рукояткой в первом режиме можно интерпретировать как следствие работы относительно большим оперативным полем зрения (максимальный уход цели от центра фовеа достигал 1—2°, среднее расстояние составляло 25—30′). Такая работа была возможна из-за небольшой нагрузки на зрение. Его функция, вероятно, ограничивалась общим контролем за движением цели. Это предположение подтверждается движением глаз в периоды покоя рукоятки. Очевидно, что в эти периоды переставали поступать кинестетические сигналы о движении цели, и зрительная система принимала на себя всю нагрузку по вводу соответствующей информации. В результате происходило сужение оперативного поля и как следствие этого повышение точности прослеживающих движений глаз. Отметим, что описанные результаты подтверждают интуитивно очевидное правило, что повышение функциональной нагрузки на зрение связано с тенденцией к большей «фовеализации» объекта, т. е. с уменьшением оперативного поля зрения.

Как было сказано выше, во втором режиме зрительная система была практически единственным каналом, по которому поступала информация не только в периоды покоя, но и в периоды движения руки. Этим и объясняется повышенная точность слежения глазами за целью: оперативное поле здесь оставалось малым на протяжении больших периодов работы. Мы видели, что точное слежение нарушается только при быстрых движениях руки. Подсчеты показали, что наибольшее рассогласование положения глаз и цели в этих случаях

наблюдается в период, начинающийся за 200 мс до начала быстрого движения, и в период самих движений: величина рассогласования здесь достигает 25′, скорость движения глаз значительно меньше скорости цели и часто приближается к нулю. Такое нарушение точного прослеживания, по-видимому, связано с временным ослаблением значения зрительной информации: за 200—250 мс до движения наступает рефрактерный период, и поступившая в это время информация не может быть использована в предстоящем движении (Woodworth, Schlosberg, 1958; Taylor, Birmingham, 1948; Welford, 1959; Navas, Stark, 1968), тем более она бесполезна в период самого движения, близкого к баллистическому. Однако к концу движения снова повышается роль зрения: необходимо убедиться, что движение достигло желаемой цели. Одновременно нужно готовиться к следующему движению или к их серии (в зависимости от поведения цели). Соответственно с этого момента и дальше (как при покое рукоятки, так и при мелких ступенчатых движениях) начинается точное прослеживание: отставание глаз от цели в среднем составляет 3′.

Подытожим сведения, которые нам удалось получить благодаря использованию регистрации движений глаз в ходе решения задачи ручного слежения. Прежде всего были получены факты, свидетельствующие об изменениях размера *оперативного поля зрения* в разных режимах. Это подтвердило наше предположение (высказанное на основе анализа условий режимов) о наличии в составе афферентации ручных действий *сигналов кинестетической модальности*: именно различия в поведении глаз дали возможность развести по характеру управляющих сигналов внешне одинаковые формы или «тактики» ручных действий в разных режимах. Наконец, анализ движений глаз оказался полезным в описании *микроэтапов деятельности* в рамках одного и того же режима, отличающихся по характеру работы зрительной системы: этапы поверхностного зрительного контроля, непрерывного пристального наблюдения, ввода информации для организации быстрого движения, усиленного контроля за результатами движения.

§ 3.3.
АНАЛИЗ ОДНОЙ ПЕРЦЕПТИВНОЙ ИЛЛЮЗИИ В ЗАДАЧЕ РУЧНОГО СЛЕЖЕНИЯ

В ходе исследования деятельности ручного слежения был получен один результат, который пролил дополнительный свет на характер включенных в эту деятельность перцептивных процессов и косвенно подтвердил некоторые выводы предыдущего параграфа.

Опыты проводились на той же установке, при той же задаче, в тех же режимах (I и II), что и эксперименты, описанные в § 3.2. Отличались лишь внешние условия предъявления движущейся цели. Во-первых, были увеличены угловые размеры экрана: они составляли 35°×35°; во-вторых, в опытах менялся характер фона, на котором предъявлялась цель: фон мог быть гомогенным либо контрастным; в последнем случае он мог быть либо движущимся, либо неподвижным. Это достигалось проекцией на экран вертикальных черно-белых полос. Полосы могли двигаться справа налево или слева направо. При этом их скорость была постоянной, равной 6°/с. Наконец, несколько отличалась также инструкция испытуемому: он должен был удерживать цель, отклоняющуюся в результате действия шума, против метки в центре экрана (а не в зоне, как в предыдущих опытах).

Было обнаружено, что если зрительный сигнал, положением которого управлял испытуемый, предъявлялся на движущемся фоне, то возникала *стойкая асимметрия ошибки слежения.* Этот эффект, однако, имел место только при запаздывающем влиянии рукоятки на сигнал, т. е. во *втором* режиме, и никогда не наблюдался при «жесткой» связи рукоятки с сигналом, т. е. в *первом* режиме.

Указанная асимметрия оказалась связанной с направлением движения фона: ошибка была больше с той стороны, в которую двигались полосы (Любимов, 1973).

Данные экспериментов были подвергнуты количественной обработке. Для этого раздельно суммировались «правые» и «левые» ошибки слежения (отклонение цели от метки), с шагом 0,5 с находилась разность между интегральной правосторонней и левосторонней ошибками и подсчитывалось отношение этой разности к общей сумме (правосторонних и левосторонних) ошибок. Полученная таким образом величина характеризовала

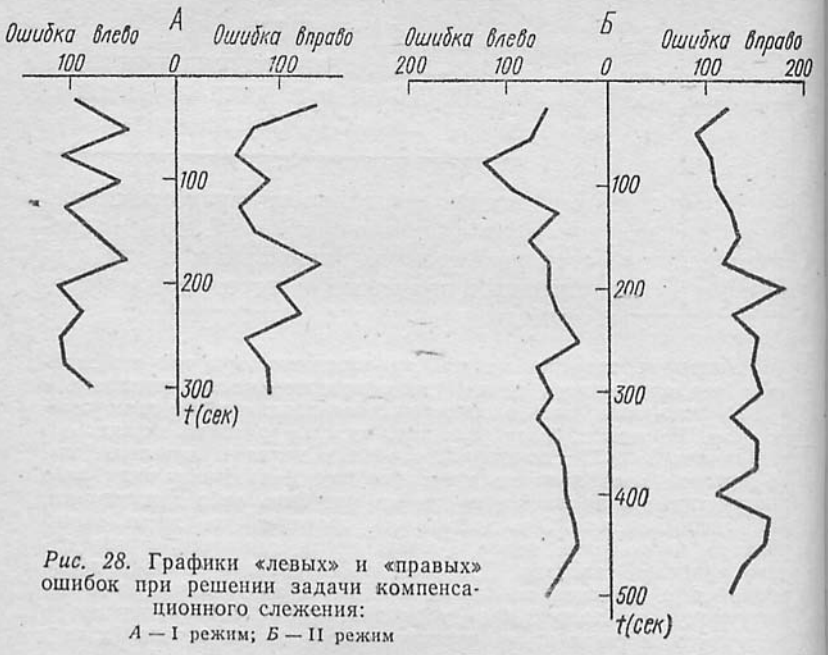

Рис. 28. Графики «левых» и «правых» ошибок при решении задачи компенсационного слежения:
А — I режим; *Б* — II режим

асимметрию ошибки слежения. Результаты обработки приведены в табл. 3—2. На рис. 28 графически представлены правосторонняя и левосторонняя ошибки слежения при работе одного испытуемого в I и II режимах (соответственно *А* и *Б*) при движущемся фоне. Каждая точка на графике выражает ошибку («правую» или «левую»), усредненную на интервале 25 с.

Графики и данные таблицы подтверждают наличие во втором режиме асимметрии ошибки слежения, совпадающей по направлению с движением фона. В первом режиме такая асимметрия не наблюдается: соответствующие значения ее невелики и по знаку не связаны с направлением движения фона.

Для объяснения полученных фактов было высказано предположение, что описанная асимметрия ошибки слежения связана с ошибочной оценкой скорости сигнала, которую провоцировал движущийся фон: скорость недооценивалась, когда фон и сигнал двигались в одном направлении, и переоценивалась при движении сигнала и фона в противоположных направлениях.

Таблица 3—2

ПРОЦЕНТ АСИММЕТРИИ ОШИБКИ СЛЕЖЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ИСПЫТУЕМЫХ И РАЗЛИЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ФОНА

Испытуемые	I режим		II режим	
	Движение фона		Движение фона	
	Слева направо	Справа налево	Слево направо	Справа налево
Б. А.	+7	+ 8	+23	—16
Т. Ф.	+5	—13	+38	—41
Т. Б.	—	—	+54	—47
Б. Х.	—	—	+27	—28
Н. О.	+5	— 5	+28	—24
С. Ж.	—4	+14	—	—

Примечание. Проценты асимметрии ошибки даются со знаком (+), если ошибка справа превышает ошибку слева, и со знаком (—), если ошибка слева превышает ошибку справа.

Испытуемый действовал в соответствии с воспринимаемой (ошибочно) скоростью, недостаточно компенсируя отклонения сигнала в первом случае и чрезмерно компенсируя их во втором. В результате сигнал большую часть времени оказывался по одну сторону цели, что и определяло асимметрию ошибки слежения.

Это объяснение оставляло, однако, открытым вопрос: почему асимметрия ошибки не наблюдалась в первом режиме? Ответить на него помогает анализ характера зрительной перцептивной работы, содержащийся в предыдущем параграфе. Там было показано, что в первом режиме имеет место работа большим оперативным полем зрения, во втором — малым.

Из исследований иллюзии индуцированного движения известно, что эта иллюзия возникает при концентрации внимания на небольшом объекте-фигуре и исчезает при распределении его на более широкой площади движущегося фона (Duncker, 1929). Нетрудно видеть, что способ работы зрения в первом режиме как раз соответствовал условиям исчезновения иллюзии, а способ работы во втором режиме — условиям ее возникновения. Остается добавить, что названная иллюзия в отношении движущегося сигнала как раз означает

недооценку его скорости в одном направлении и переоценку в другом.

Хочется подчеркнуть своеобразное положение, в котором оказывалась зрительная система испытуемых при работе во втором режиме. Сужение оперативного поля до размеров сигнала было целесообразной «реакцией» зрения на усложнение общих условий работы. Однако из-за движения фона эта целесообразная реакция становилась одновременно причиной перцептивной иллюзии. Зрительная система как бы попадала в заколдованный круг: способ, к которому она прибегала для более тщательной оценки скорости сигнала, приводил к ошибочной оценке той же скорости. Движения глаз обслуживали этот способ, т. е. работу малым оперативным полем, и тем самым оказывались невольными «соучастниками» процесса, приводящего к иллюзии. С методической же точки зрения они явились главным звеном, которое помогло «вытянуть» всю цепь событий в целом: начиная с анализа режима влияния рукоятки на сигнал и кончая ошибкой оператора.