

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА В ЦЕЛЯХ УПРАВЛЕНИЯ

А. ЛАУРИНГСОН

I. Введение

Функция оператора, управляющего каким-либо объектом, в некоторых случаях сводится к работе следящей системы. В этом процессе участвуют глаза оператора, следящие за движущейся целью, его мозг, получающий сигналы от глаз и передающий их мышцам органов оператора, которые через сервопривод приводят в движение исполнительное устройство. Обычно такими органами оператора служат руки, ноги, иногда плечи. Часто возникают ситуации, когда руки или ноги оператора заняты выполнением иных функций или по каким-либо иным причинам не могут быть использованы для перемещения регулирующего органа. В таких случаях возникает мысль прямого использования поворота глазного яблока, следящего за целью, для перемещения регулирующего органа.

Поворот глазного яблока может быть измерен электроокулографическим способом [4, 8, 9]. Ценность этого метода для подобных задач заключается в том, что выходом является электрический сигнал, который после надлежащего усиления оказывается достаточным для управления сервоприводом. Такой способ использования глазодвигательной регуляции, по-видимому, интересен для некоторых объектов, где приходится иметь дело с сильно перегруженным оператором. Поэтому представляет интерес сравнительное изучение возможностей оператора в указанных двух случаях, т. е. в случае, когда команда на регулирующий орган снимается с рук или ног оператора и в случае, когда команда снимается непосредственно с глазного яблока оператора. Такому сопоставлению и посвящена настоящая работа. Далее термин «оператор» условно применяется для описания системы передачи сигнала по каналам: «глаз—мозг—рука (или нога)», а термином «глаз» условно обозначается система «глаз—мозг—глазодвигательные мышцы». В работе изучаются возможности системы «глаз» и приводятся результаты сравнительных испытаний двух систем: системы «глаз» и системы «оператор».

II. Некоторые сведения о работе глазодвигательной регуляции

Глаз человека может фиксировать как неподвижный объект, так и следить за непрерывно движущимся объектом.

В работах [1, 2] было показано, что при фиксации глазом неподвижного объекта существуют: высокочастотные колебания глазного яблока с частотой $30 \div 80$ гц и амплитудой $10 \div 30$ угловых секунд, дрейф глазного яблока величиной в $5 \div 6$ угловых минут и скачки такой же величины.

Результаты работ [3–5] показывают, что слежение глазом за скачкообразно движущимся объектом осуществляется скачками. Скорость скачка зависит от величины

скачка. По данным работы [4] скорость скачка размером в 2° равна $75^\circ/\text{сек}$, а скорость скачка в 30° равна $360^\circ/\text{сек}$.

Непрерывное, плавное движение глаза имеет место только тогда, когда есть непрерывно движущаяся цель. При этом максимальная скорость цели, при которой глаз еще может следить непрерывно, примерно $30^\circ/\text{сек}$. При скоростях, больших $30^\circ/\text{сек}$ движение глаза состоит из отрезков непрерывного слежения и скачков [6, 7].

Специально поставленный эксперимент позволил в настоящей работе получить дополнительные данные относительно глазодвигательной системы, существенные для изучения возможности замены оператора системой «глаз».

III. Методика эксперимента

Движение глаз регистрировалось электроокулографическим методом (ЭОГ) [8, 9]. В работе [9] показано, что повороту глаз на 1° соответствует изменение потенциалов от 10 до 40 μV . Линейная зависимость между углом поворота глаз и снимаемыми потенциалами сохраняется в пределах поворота глаз в 30° . Точность этого метода 30 угловых минут [8].

IV. Постановка опыта

На рис. 1 изображена схема опыта, выясняющего возможность «глазного» управления.

Движущейся целью, за которой следят глаза, служит светящаяся точка катодного осциллографа, работающего без развертки. Диаметр экрана осциллографа 25 см. Закон движения точки задается при помощи электронной моделирующей установки (ЭМУ-8). Человек, следящий за точкой, находится на расстоянии 50 см от экрана. Голова человека фиксируется в неподвижном положении специальной подставкой. Запись движений точки — цели и соответствующих глазных потенциалов производится шлейфовым осциллографом Н-700.

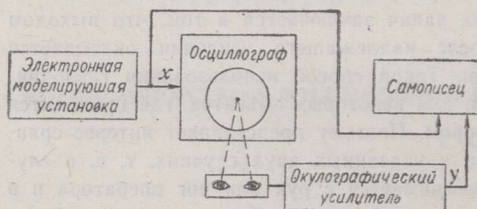


Рис. 1. Схема для изучения движения глаз. X — движение точки-цели, Y — движение глаз.

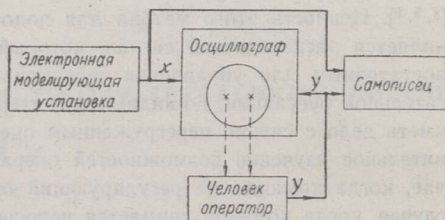


Рис. 2. Схема для изучения слежения «оператором». X — движение точки-цели, Y — движение точки, управляемой «оператором».

На рис. 2 приведена схема опыта, проведенного для выяснения и оценки качества работы «оператора». На экране осциллографа имеются две светящиеся точки, которые могут быть совмещены. Движение одной из этих точек задается моделью, а движением второй точки управляет «оператор», поворачивая ручку реостата. Задача «оператора» состоит в совмещении обеих точек. Запись движения точки-цели в управляемой точки производилась шлейфовым осциллографом Н-700.

Исследовались следующие виды движений точки-цели:

1. с постоянной скоростью (на моделирующей установке набиралось уравнение $(k\dot{x} = a)$,
2. с постоянным ускорением ($k\ddot{x} = a)$,
3. по экспоненциальному закону ($k_1\dot{x} + k_2x = a)$,

4. по синусоидальному закону ($k_1\ddot{x} + k_2\dot{x} = a$),
5. по случайному закону,
6. скачок.

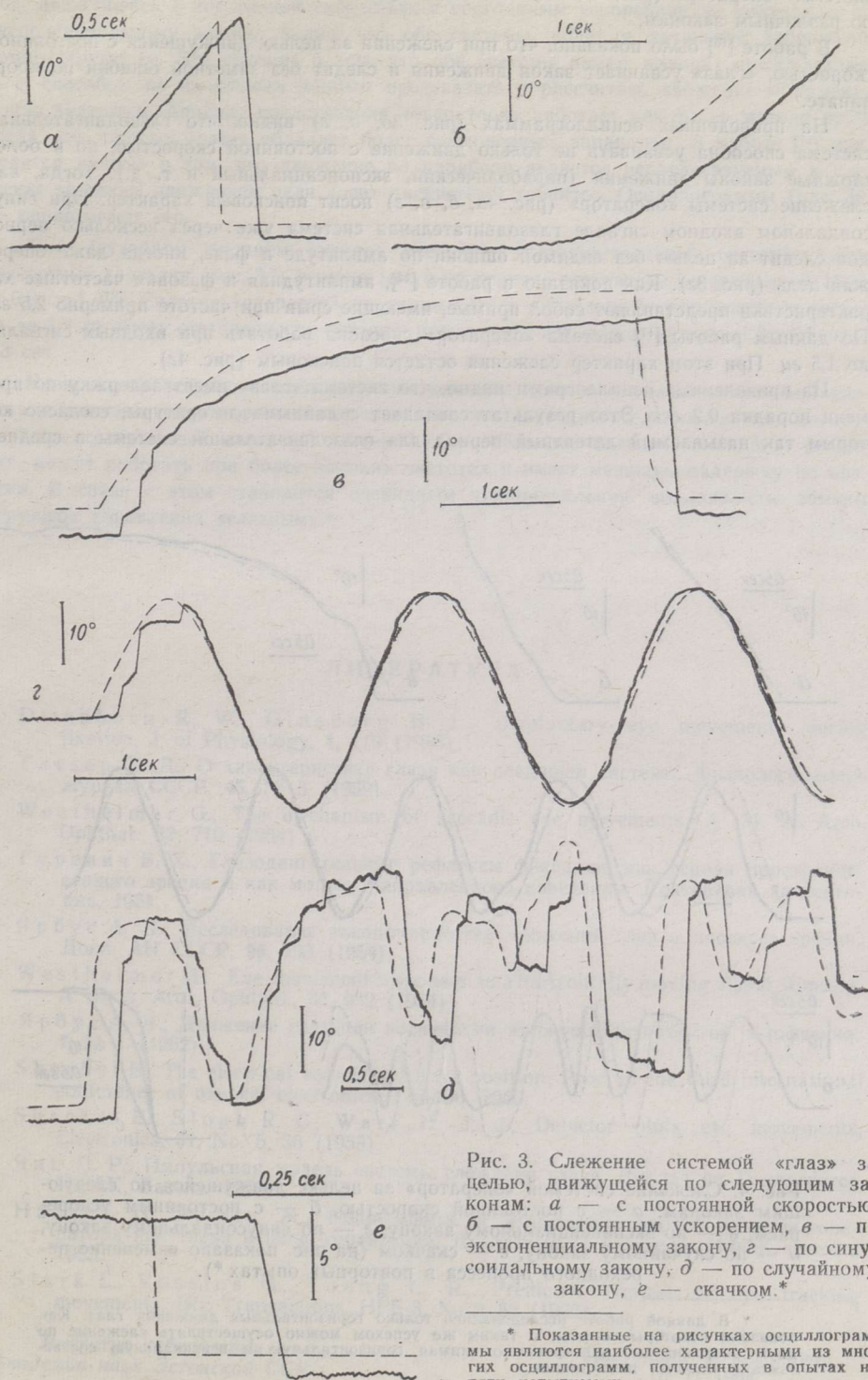


Рис. 3. Слежение системой «глаз» за целью, движущейся по следующим законам: *a* — с постоянной скоростью, *б* — с постоянным ускорением, *в* — по экспоненциальному закону, *г* — по синусоидальному закону, *д* — по случайному закону, *е* — скачком.*

* Показанные на рисунках осциллограммы являются наиболее характерными из многих осциллограмм, полученных в опытах на пяти испытуемых.

V. Результаты эксперимента

В проведенных опытах были получены осциллограммы системы «глаз» (рис. 3) и системы «оператор» (рис. 4), показывающие процесс слежения за целью, движущейся по различным законам.

В работе [10] было показано, что при слежении за целью, движущейся с постоянной скоростью, «глаз» усваивает закон движения и следит без заметной ошибки по координате.

На приведенных осциллограммах (рис. 3б, в, г) видно, что глазодвигательная система способна усваивать не только движение с постоянной скоростью, но и более сложные законы движений (параболический, экспоненциальный и т. д.). Тогда, как слежение системы «оператор» (рис. 4а, б, в, г) носит поисковый характер. При синусоидальном входном сигнале глазодвигательная система уже через несколько периодов следит за целью без видимой ошибки по амплитуде и фазе, иногда даже опережая цель (рис. 3г). Как показано в работе [12], амплитудная и фазовая частотные характеристики представляют собой прямые, имеющие срыв при частоте примерно 2,5 гц. По данным работы [11] система «оператор» способна работать при входных сигналах до 1,5 гц. При этом характер слежения остается поисковым (рис. 4г).

Из приведенных осциллограмм видно, что система «глаз» имеет задержку по времени порядка 0,2 сек. Этот результат совпадает с данными литературы, согласно которым так называемый латентный период для глазодвигательной системы в среднем

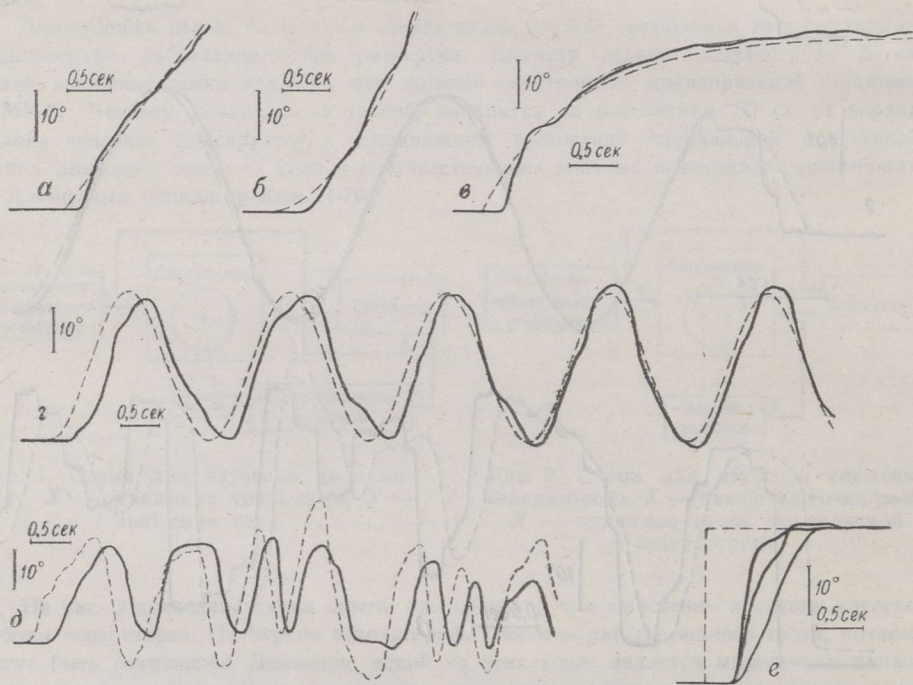


Рис. 4. Слежение системой «оператор» за целью, движущейся по следующим законам: а — с постоянной скоростью, б — с постоянным ускорением, в — по экспоненциальному закону, г — по синусоидальному закону, д — по случайному закону, е — скачком (на рис. показано изменение переходного процесса в повторных опытах *).

* В данной работе исследовались только горизонтальные движения глаз. Как показали некоторые опыты, с таким же успехом можно осуществлять слежение по двум координатам, одновременно снимая горизонтальную и вертикальную составляющие глазных потенциалов.

равен 0,18 сек [10]. Система «оператор» имеет несколько большую задержку по времени (0,20 ÷ 0,25 сек).

Из приведенных осциллограмм слежения «оператором» и системой «глаз» за точкой, движущейся с постоянной скоростью, с постоянным ускорением по синусоиде, по экспоненциальному закону, видно, что обе системы, обладая начальной задержкой, компенсируют ее. Это говорит о том, что обе системы имеют аппарат предсказания, т. е. способны по начальным данным предсказать и рассчитать движение к моменту конца задержки. Аппарат предсказания «оператора» работает как-бы по методу проб, тогда, как система «глаз» обладает более совершенным аппаратом. В работе [10] приводятся данные о том, что движение по параболе является непредсказуемым и слежение за таким движением цели носит дискретный характер. Осциллограммы (рис. 3б, в) опровергают это.

При случайном входном сигнале слежение глазодвигательной системы носит дискретный характер (рис. 3д) и имеет место постоянное отставание по времени (0,18 ÷ 0,2 сек) [12]. Система «оператор» по данным [11] в диапазоне частот входного сигнала до 1,2 гц имеет отставание по времени порядка 0,2 сек, а в диапазоне 1,2 ÷ 1,5 гц — 0,3 сек.

Итак, из проведенного сопоставления качества слежения глазодвигательной системы и системы «оператор» становится ясным, что глазодвигательная система является более совершенной следящей системой. Она обладает большей точностью слежения, может работать при более высоких частотах и имеет меньшую задержку по времени. В связи с этим становится очевидным принципиальная возможность замены «ручного» управления «глазным».*

ЛИТЕРАТУРА

1. Ditchburn R. W., Ginsborg B. L., Involuntary eye movements during fixation, *J. of Physiology*, 1, 119 (1953).
2. Глезер В. Д., О характеристике глаза как следящей системы. Физиологический журнал СССР, 45, № 3 (1959).
3. Westheimer G., The mechanism of saccadic eye movements, *A. M. A. Arch. Ophthalm.*, 52, 710 (1954).
4. Гуревич Б. Х., Глазодвигательные рефлексы фиксации, как основа пространственного зрения и как модель направленного поведения, Докторская диссертация, 1961.
5. Ярбус А. Л., Исследование закономерностей движений глаз в процессе зрения, Докл. АН СССР, 96, 733 (1954).
6. Westheimer G., Eye movement responses to a horizontally moving visual stimulus, *A. M. A. Arch. Ophthalm.*, 52, 932 (1954).
7. Ярбус А. Л., Движение глаз при восприятии движущихся объектов, Биофизика, 7, № 1 (1962).
8. Shackel B., The electrical recording of eye position, Proc. of the third international conference of medical electronics, London, 1960.
9. Shackel B., Sloan R. C., Warr H. J. J., Detector plots eye movements, *Electronics*, 31, No. 5, 36 (1958).
10. Янг Л. Р., Импульсная модель системы слежения глаза, Доклад на II конгрессе ИФАК, Базель, 1963.
11. Наслен П., Рауль Ж., Непрерывные и импульсные модели человека-оператора как звена в цепи управления, Доклад на II конгрессе ИФАК, Базель 1963.
12. Stark L., Vossius G., Young L. R., Predictive control of eye tracking movements, *IRE Transactions*, HFE-3, No 2, 52 (1962).

INIMESE SILMA JÄLGIVSÜSTEEMI KASUTAMISEST JUHTIMISE EESMÄRGIL

A. Lauringson

Resümee

Artiklis näidatakse, et inimoperaatori käsitsijuhtimist on juhtimissüsteemis võimalik asendada niisuguse juhtimisega, kus täidesaatva mehhanismi käsitlemiseks kasutatakse operaatori silmade jälgivliikumist. Silmade asendit mõõdetakse elektrookulograafilise meetodiga.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Küberneetika Instituut

Saabus toimetusse
10. II 1964

ON THE POSSIBILITY OF USING THE TRACING MOVEMENTS OF HUMAN EYE FOR CONTROL PURPOSES

A. Lauringson

Summary

The possibility is ascertained of substituting manual control of human operator in a control system by a system in which the tracing movements of the operator's eye are used for the control of the positioning element. The electrooculographic method is used for measuring eye movements.

Academy of Sciences of the Estonian S.S.R.,
Institute of Cybernetics

Received
Feb. 10th, 1964