

АНАЛИЗ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ
 ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ
 ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ ПАМЯТИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.
 II (СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ)

Э. В. Утеуш

Рефлекторные системы с памятью моделируются, с целью описания процессов слежения, как объекты с закрытыми циклами, в которых в самом объекте сигнал выходной реакции суммируется с входным сигналом [1, 2, 3]. Для стационарных эргодических случайных процессов сигнал обратной связи $y(t)$ так накладывается на входной сигнал $x(t)$, что сигнал в цепи задержки модели носит преимущественно черты сигнала реакции

$$x_1(t) = ay(t) + x(t), \quad (1)$$

где $a > 10$ и

$$y(t) \approx x(t - s). \quad (2)$$

На основании (2) для тренированного оператора нормированные корреляционные функции сигналов $x(t)$ и $y(t)$ равны

$$K_x(\tau) \approx K_y^{\text{тр}}(\tau). \quad (3)$$

Для нетренированного оператора ($a \ll 10$) равенство (2) не соблюдается, причем в предельном случае взаимосвязь между процессами $y(t)$ и $x(t)$, выражаемая через взаимную корреляционную функцию, отсутствует:

$$R_{xy}(\tau) = 0; \quad R_{yx}(\tau) = 0. \quad (4)$$

В общем случае для упрощения будем считать, что модель характеризуется при различных a одной и той же передаточной, а также весовой функцией:

$$g_x^{\text{тр}}(t - \tau) \approx g_x^{\text{нетр}}(t - \tau). \quad (5)$$

Значение взаимной корреляционной функции $R_{yx_i}(t)$ находится вычислением интеграла типа свертки

$$R_{yx_i}(t) = \int_{-\infty}^{\tau} g_x(t - \tau) R_{x_i}(\tau) d\tau, \quad (6)$$

где

$$R_{x_i}(\tau) = R_x(\tau) + a^2 R_y(\tau) + a[R_{xy}(\tau) + R_{yx}(\tau)]. \quad (7)$$

Используя данный анализ, можно показать, что

$$R_{x_i}^{\text{нетр}}(\tau) \approx R_x(\tau), \quad (8)$$

$$R_{x_i y}^{\text{нетр}}(\tau) = R_{xy}^{\text{нетр}}(\tau), \quad (9)$$

$$R_{x_1 y}^{\text{тр}}(\tau) > R_{x_1 y}^{\text{нетр}}(\tau), \quad (10)$$

$$R_{xy}^{\text{тр}}(\tau) > R_{xy}^{\text{нетр}}(\tau). \quad (11)$$

Переходя к нормированным корреляционным функциям, получим

$$K_{xy}^{\text{тр}}(\tau) > K_{xy}^{\text{нетр}}(\tau). \quad (12)$$

Отсюда следует, что

$$K_{xy}^{\text{тр max}}(\tau_{M_1}) > K_{xy}^{\text{нетр max}}(\tau_{M_2}), \quad (13)$$

$$\tau_{M_1} > \tau_{M_2} \text{ и } \tau_{\text{max}_1} > \tau_{\text{max}_2}, \quad (14)$$

$$K_{xy}^{\text{тр}}(0) > K_{xy}^{\text{нетр}}(0), \quad (15)$$

$$\int_0^{\tau_{\text{max}_1}} K_{xy}^{\text{тр}}(\tau) d\tau > \int_0^{\tau_{\text{max}_2}} K_{xy}^{\text{нетр}}(\tau) d\tau. \quad (16)$$

Таким образом, в качестве критерия тренированности (обученности) человека-оператора можно использовать любое из неравенств (11) — (16).

С целью подтверждения полученных результатов на экспериментальной установке (рис. 1 и 2) в Харьковском институте радиоэлектроники были проведены опыты, в которых человек-оператор, наблюдая движение точки-метки на экране двухлучевого электронного осциллографа типа ДЭО-1 и воздействуя на рычаг — орган управления, пытался движением точки-визира в преследующем режиме совмещать точку-визир с точкой-меткой [3]. Регистрация функций входа $x(t)$ и выхода $y(t)$ оператора осуществлялась на шлейфовом осциллографе. Человек-оператор следил за точкой-меткой с помощью органа управления — рукоятки пилотской системы самолета ЯК-18, связанной с потен-

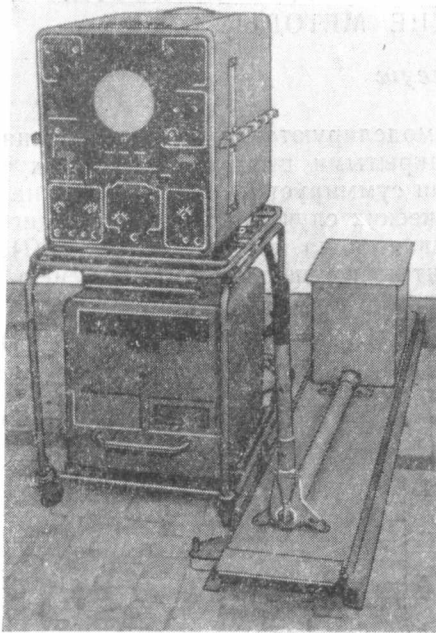


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки для исследования работы человека-оператора в режиме слежения:

слева — осциллограф ДЭО-1, справа — рукоятка пилотской системы ЯК-18 с преобразователями.

циометрами. Оператор перемещал рукоятку в направлении «на себя — от себя».

Динамика двигательных реакций человека-оператора изучалась в двух сериях опытов: в одних опытах оператор следил за детерминированными, в других — за случайными сигналами. В первом случае от одного генератора низкочастотных периодических колебаний типа НГПК-ЗМ на двухлучевой осциллограф поступали допустимые по амплитуде типовые периодические сигналы, например, синусоидальной, треугольной, пилообразной и прямоугольной формы (рис. 3). Частота этих сигналов выбиралась с таким расчетом, чтобы она была не выше максимально возможной для оператора, т. е. не более одного-двух колебаний в секунду. Частота входных сигналов изменялась в диапазоне 0,1—1,5 гц. Пропорционально электрическим напряжениям, соответствующим значениям $x(t)$ и $y(t)$, оба луча осциллографа управлялись так, что на экране по оси Y (вверх-вниз) устанавливались две точки. Скорость их перемещения

определялась частотами входных сигналов. Благодаря электронной развертке процессов $x(t)$ и $y(t)$ во времени оператор одновременно видел изменения функций в некотором диапазоне ($t - \Delta t$), равном нескольким колебаниям:

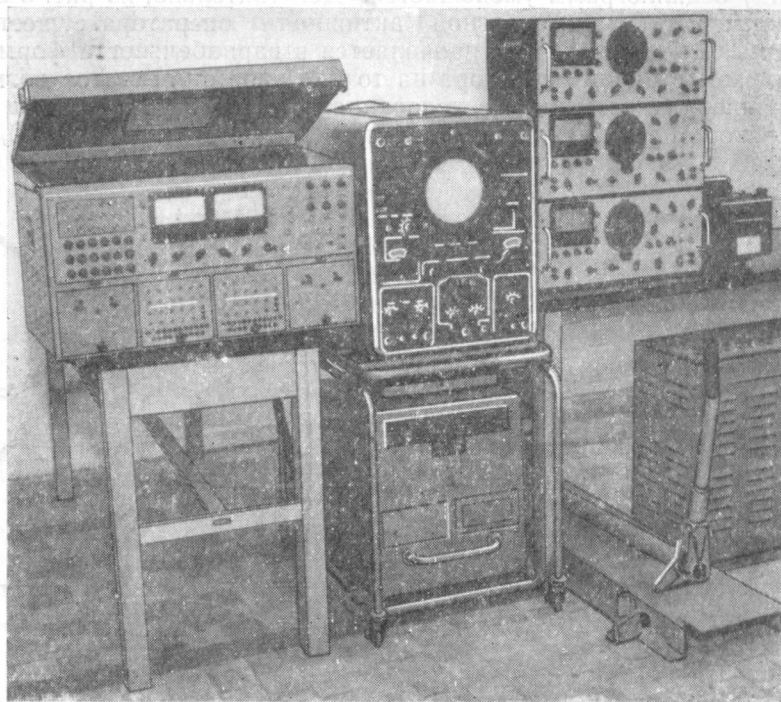


Рис. 2. Общий вид аппаратуры для комплексных исследований. В верхнем ряду (слева направо):

моделирующая установка МН-7, осциллограф ДЭО-1, набор трех генераторов НГПК-ЗМ, шлейфовый осциллограф; в нижнем ряду: рукоятка управления и источник стабилизированного напряжения.

Экспериментально изучались также реакции человека-оператора на сигнал, изменяющийся по случайному закону (рис. 3, д). В этом случае закон перемещения точки-метки в плоскости $X - Y$ представлял собой реализацию стационарного, а точнее, квазистационарного, случайного процесса и был получен путем суммирования трех эталлонных электрических сигналов — трех синусоид, получаемых на выходе трех НГПК-ЗМ:

$$U = \sum_{i=1}^3 u_i \sin \omega_i t.$$

Был подобран спектр частот некрatных гармоник, состоящий из синусоидальных сигналов с частотами $f_1 = 0,5$ гц, $f_2 = 0,7$ гц и $f_3 = 0,9$ гц.

В динамическом отношении объект, которым управлял оператор, представлял собой систему нулевого порядка. В такой системе передаточная функция, определяемая отношением выхода всей системы, т. е. параметров движения управляемого объекта, к «выходу» оператора, есть не что иное как простое усилительное звено. Поэтому при слежении сила, приложенная к рукоятке управления, непосредственно вызывает смещение визира на экране осциллографа. Таким образом, с помощью

простых технических средств можно изучить деятельность человека-оператора.

Однако вследствие сложности и адаптивности человека как звена данной кибернетической системы СЧМ точность оценки работы оператора по виду осциллограмм уменьшается. Действительно, из рис. 3 видно, что характеристики двигательной активности оператора существенно нелинейны. Эта нелинейность проявляется в вариабельности формы начальной фазы реакции оператора на то или иное ступенчатое возмущение и в задержке реакции. Исследования показали, что задержки реакции оператора при входных сигналах до 1,5 гц составляют 0,1—0,3 сек.

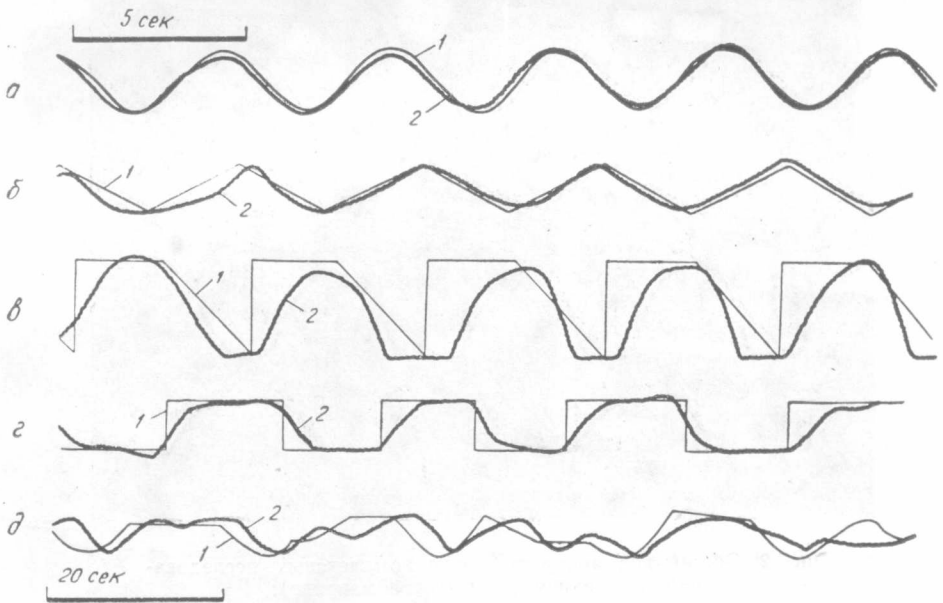


Рис. 3. Образцы программ перемещения на экране осциллографа точки-метки и результатов ее отработки человеком-оператором после длительной тренировки:

1 — движение точки-метки $x(t)$; 2 — реакция оператора $y(t)$; а — синусоидальный входной сигнал; б — входной сигнал треугольной формы; в — входной сигнал пилообразной формы; г — прямоугольная форма входного сигнала; д — слежение за случайным сигналом.

Если частота сигналов близка к 1,5 гц или выше, оператор просто воспроизводит входную частоту, не пытаясь управлять амплитудой своих реакций, так что связь его со входом становится непрочной. Это относится даже к чисто синусоидальному входу. Невозможность оценить коррелированность функций $x(t)$ и $y(t)$, т. е. навыка, не позволяет изучить влияние памяти на деятельность, проявляющееся в способности оператора обучаться.

Как видно из настоящей работы, такое влияние устанавливалось путем сопоставления времени тренировок с характеристиками реакций человека-оператора. Анализ осциллограмм показывает, что с увеличением времени тренировок повышается точность регулирования, т. е. коррелированность функций $x(t)$ и $y(t)$. Однако с помощью осциллограмм нельзя было дать определенный ответ на поставленный вопрос, поскольку влияние времени на обученность человека следует рассматривать в тесной связи с другими факторами. Поэтому в дальнейшем основной анализ проводился на основе статистических методов исследования, в частности традиционного корреляционного анализа.

При постановке опытов учитывался тот факт (также вытекающий из результатов данной работы), что после двух недель ежедневных тренировок навык оператора практически стабилизируется. Исследовался ряд испытуемых, в основном студентов. Однако успешность обучения большинства их навыку слежения была незначительной. В связи с этим анализировались результаты опытов только с одним квалифицированным оператором, обладавшим высокоспециализированными навыками слежения. Так же подошли к выбору испытуемого для аналогичных экспериментов авторы работы [4]. Тренировки проводились циклами, ежедневно в течение двух недель. Всего их было около двадцати каждая длительностью не менее 0,5 ч, не считая ряда тренировочных попыток и работы в период наладок установки. Корреляционному анализу подвергались осциллограммы слежения за случайными сигналами в начале и в конце тренировок.

Ввиду периодичности полученной функции $x(t)$, длина анализируемой реализации была принята несколько меньшей, чем это требуется по условиям точности, и равной 50 сек. Это обстоятельство, а также факт отклонения процесса входной реализации от характера стационарного случайного процесса, обуславливает иллюстративный характер подсчитанных корреляционных функций и кривых спектральной плотности (рис. 4). Поэтому на рис. 4 представлены полученные корреляционные функции только на участке их спада от $\tau = 0$ до $\tau = \tau_0$, где τ_0 — время спада автокорреляционной функции — один из важных параметров, характеризующих работу рефлекторных систем человека-оператора [2]. Взаимные корреляционные функции отражены на рис. 4 лишь в небольшой области изменения — так, чтобы определить $\tau = \tau_m$ — временной сдвиг, при котором взаимная корреляционная функция достигает максимума [3].

Однако несмотря на предварительный характер исследований эксперимент подтвердил техническую возможность осуществления предложенных методов контроля состояния человека-оператора [2, 3]. Кроме того, некоторые важные данные были получены с помощью корреляционного анализа.

Как видно из рис. 4, поставленная задача — исследование способности оператора обучаться — решена. В процессе тренировки автокорреляционные функции изменяются следующим образом: с ростом времени тренировок крутизна спада корреляционной функции реакции оператора уменьшается, а время спада корреляционной функции увеличивается с 2,8 до 4,2 сек (рис. 4, в). В конце тренировки (рис. 4, а) время спада корреляционной функции входа равно 4,4 сек, а корреляционной функции выхода — 4,2 сек. В начале тренировки (рис. 4, б) эти параметры соответственно равны 4,7 и 2,8 сек. Тренировка снижает ошибку оператора: в начале обучения навыку $\sigma^2 = 32,8$, в конце $\sigma^2 = 17,3$. На основании этих данных, хорошо согласующихся с результатами работы [4], можно заключить, что оператор в результате обучения «усваивает» статистическую структуру входных сигналов.

Этот еще не изученный феномен, как нам представляется, можно объяснить в рамках корреляционной теории буферной памяти. Управление памятью приводит к вовлечению в процессы регулирования дополнительных структур памяти и к образованию в памяти списков, воспринимаемых буферной памятью как единая кодовая группа — в виде слова памяти. Длина и характер информации в списках определяются автокорреляционной функцией входного сигнала и зависят от времени обучения оператора, причем длина таких словарных списков должна быть такой, чтобы при их извлечении был использован равный

объем буферной памяти. Следовательно, требуемая емкость буферной памяти, вовлекаемая в процессы регуляции, зависит от условий деятельности и определяется статистической структурой входного сигнала.

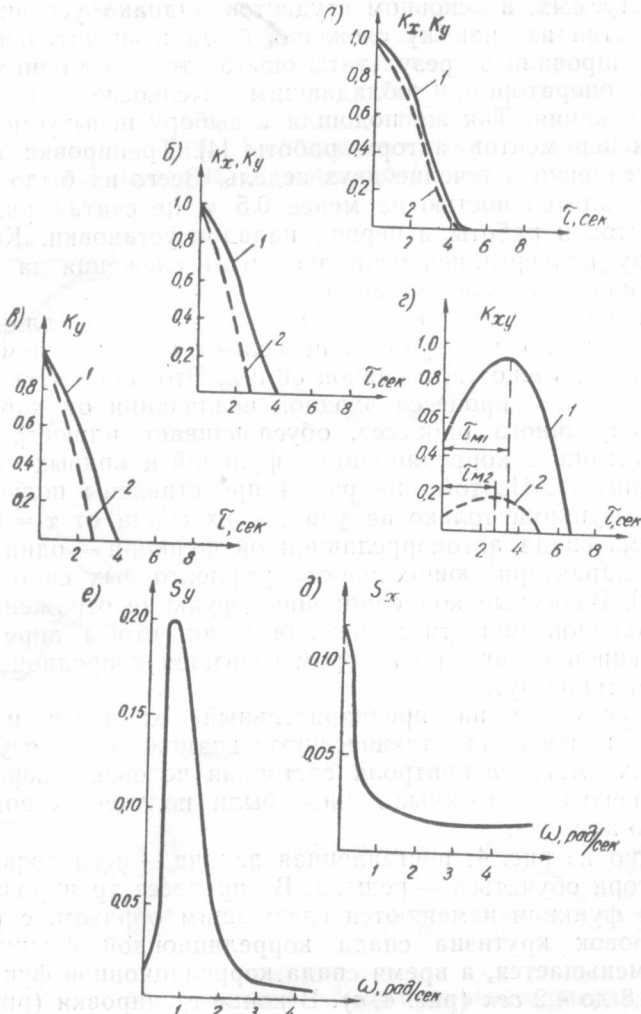


Рис. 4. Результаты корреляционного и спектрального анализа:

а — автокорреляционная функция в конце тренировки: 1 — входа $x(t)$, 2 — выхода $y(t)$; б — автокорреляционная функция в начале тренировки: 1 — входа $x(t)$, 2 — выхода $y(t)$; в — смещенные графики автокорреляционных функций выхода $y(t)$: 1 — в начале тренировки, 2 — в конце тренировки; г — взаимокорреляционная функция K_{xy} : 1 — для тренированного оператора, 2 — в начале тренировки; д — график спектральной плотности входной реализации $S_x(\omega)$; е — график спектральной плотности выхода оператора $S_y(\omega)$.

Очевидно, чем меньше крутизна спада автокорреляционной функции входа $x(t)$, тем меньше длина словарных списков в ДП и необходимый для запоминания их объем буферной памяти. Поэтому в процессе обучения с удлинением словарных списковых структур в процессе регуляции вовлекаются новые виды буферной памяти, причем степень вовлечения их можно оценить по значениям автокорреляционной

функции реакции оператора. Совпадение автокорреляционных функций входного сигнала и реакции оператора возможно в том случае, когда действительное значение объема буферной памяти равно значению, необходимому для хранения слов памяти, соответствующих структуре входа $x(t)$.

Если предположить, что структура буферной памяти такая же, как и структура ДП, то путем моделирования ее дихотомическим ветвящимся деревом [2] можно выделить восемь или более уровней, объединение которых в последовательные цепочки составит (рис. 5 и таблица) такие виды памяти: МП, НП и ОП.

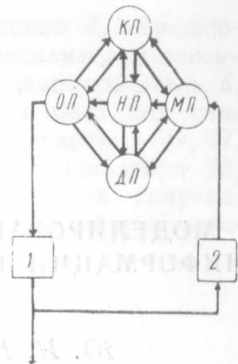


Рис. 5. Схема организации взаимодействия видов буферной памяти.

Время сохранения информации отдельными видами буферной краткосрочной памяти (за психологическую единицу принято время сохранения информации МП — 0,1 сек)

Уровень памяти	0	1	2	3	4	5	6	7
Время сохранения информации, сек	0,01	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4
Виды памяти	МП		НП		ОП			

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. В. Утеуш. Анализ психофизиологических особенностей человека-оператора на основе моделирования взаимозависимости памяти и деятельности, I (статья в настоящем сборнике).
2. Э. В. Утеуш. Регистровая структура как модель памяти и ее роль в процессах восприятия. (Статья в настоящем сборнике).
3. Э. В. Утеуш. Исследование психофизиологических особенностей оператора. (Статья в настоящем сборнике).
4. Г. А. Сергеев, Г. В. Суходольский, В. М. Водлозеров. Исследование статистических характеристик человека-оператора при нестационарных входных воздействиях. Сб. «Система человека и автомат», изд-во «Наука», М., 1965.