

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ОБУЧЕННОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА В ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ СЛЕЖЕНИЯ

В. А. ТАРАН

(Москва)

Требования, предъявляемые эксплуатационниками к машинной (аппаратурной) части системы «человек-машина», часто ставят проектировщика перед необходимостью иметь количественные данные о показателях операторской деятельности в системе. Однако получение таких данных затрудняется тем, что в процессе приспособления к условиям работы в

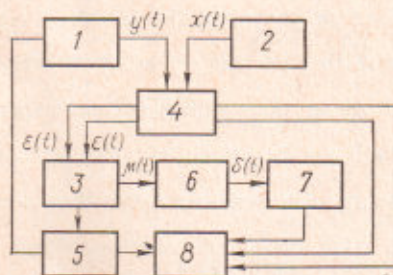


Рис. 1. Блок-схема моделирующей установки для имитации функционирования эргатической системы слежения.

$x(t)$ — координата требуемого положения объекта; $y(t)$ — координата объекта; $\varepsilon(t)$ — сигнал рассогласования; $\zeta(t)$ — производная рассогласования; $u(t)$ — миограмма; $\delta(t)$ — огибающая миограммы; 1 — модель объекта управления; 2 — генератор требуемого значения координаты объекта; 3 — оператор; 4 — индикатор; 5 — пульт управления; 6 — усилитель биопотенциалов с выделением огибающей миограммы; 7 — вычислительная схема для получения усредненной квадратичной меры интенсивности биопотенциалов; 8 — фиксирующее устройство. Между 3 и 4 связь оптическая, между 5 и 3 — механическая, остальные связи — электрические.

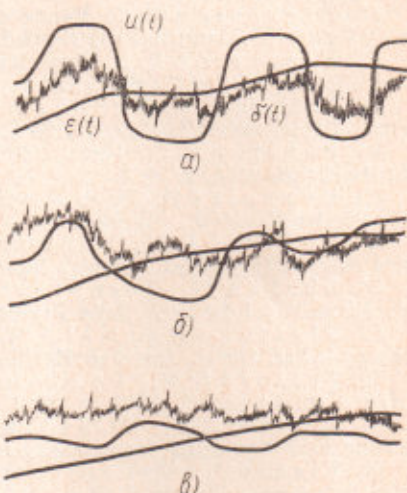


Рис. 2. Типовые записи процесса слежения в адаптирующейся эргатической системе слежения.

а — начальный период обучения оператора; б — записи после приобретения оператором некоторого навыка управления; в — записи, полученные в конце процесса обучения.

составе данной системы рабочие показатели оператора могут изменяться. Это обстоятельство накладывает существенные ограничения на способы определения структуры и параметров машинной (аппаратурной) части. Не случайно при обосновании того или иного проекта указывают, что при опытной отработке (проверке) принимал участие обученный оператор. В то же время количественно степень обученности оператора не определяется; обученность оценивается чисто качественно, на основании субъективных суждений.

В предстоящей работе [6] был изложен метод локальных оценок обученности операторов эргатических систем слежения на примере оценки обученности пилотов на тренажерах. Представляет интерес сравнить этот метод с другими, например с методами оценки сте-

пени адаптации (в данном случае — обученности), основанными на стабилизации значений параметров функции, описывающей поведение человека-оператора, кривой вероятности успешных управлений в конечный момент времени управления и интегрированной многограммы.

При этом способе особое значение имеет сравнение моментов достижения стабилизированных уровней указанных показателей, так как в каждом случае стабилизация показателя в той или иной мере характеризует состояние обученности [9]. При этом, естественно, необходимо обеспечить идентичность условий опыта. Лучшие всего это осуществить за счет синхронной фиксации всех исходных данных, используемых для оценки этих показателей.

Исследования проводились на тренажере одноместного самолета (рис. 1) с гипотетической структурой системы управления [6]. В качестве показателей деятельности оператора определялись: биопотенциалы мышцы-сгибателя кисти правой руки [5]; параметры функции человека-оператора [8]; успешность управления по каждому циклу по результатам пребывания траектории системы в допустимых пределах в конечный момент цикла (рис. 2); критерий успеха $\bar{V}(N)$, с помощью аналоговой решающей схемы, построенной на основании метода локальных оценок [6].

На основании ряда работ в литературе сложилась гипотетическая структура функции, описывающей деятельность человека-оператора в случае простого сенсомоторного слежения [1], [3], [4], [9]. Сначала описывающая функция аппроксимируется линейным звеном второго порядка с запаздыванием и реакцией как на сигнал рассогласования, так и на его первую производную [1]. Далее осуществляется процесс параллельного моделирования операторского управления моделью объекта с подбором параметров данной структуры описывающей функции. Процесс подбора осуществляется методом совмещенного моделирования [8]. Совмещенная модель чувствительности позволяет одновременно находить коэффициенты влияния приращений параметров модели оператора на приращение критерия эквивалентности модели реальному оператору. Естественно, реальный оператор обладает некоторыми начальными сведениями об управляемом им объекте, но он не обучен настолько, чтобы обеспечить достаточно высокую эффективность управления.

Совмещенная модель чувствительности, разработанная на основании метода преобразованных систем [2] и метода операторов влияния [7], основана на использовании линейных преобразований модели исследуемой системы, в которой все процессы определяются обработкой исходного сигнала последовательным набором передаточных функций. Для описания передаточной функции оператора используется управление вида:

$$z(s) = W(s) \varepsilon(s),$$

где

$$W(s) = \frac{A_n s^n + \dots + A_1 s^1 + \dots + A_0}{s^m + \dots + B_j s^j + \dots + B_0},$$

$$A_n = \frac{a_n}{b_m}; \dots; A_i = \frac{a_i}{b_m}; \dots; B_{m-1} = \frac{b_{m-1}}{b_m}; \dots; B_j = \frac{b_j}{b_m}.$$

Далее вводятся вспомогательные переменные вида:

$$U_1(s) = \frac{1}{s^m + \dots + B_j s^j + \dots + B_0} \varepsilon(s) \quad (1)$$

и

$$U(s) = \frac{1}{s^m + \dots + B_j s^j + \dots + B_0} z(s) \quad (2)$$

Учитывая выражения для передаточной функции и вспомогательной переменной (1), можно записать:

$$z(s) = A_n s^n U_1(s) + \dots + A_1 s^1 U_1(s) + A_0 U_1(s).$$

Дифференцируя уравнение системы по параметрам A_i и B_j , находим коэффициенты влияния (частные производные), а именно:

$$\frac{\delta z}{\delta A_0}(s) = U_1(s); \dots; \frac{\delta z}{\delta A_i}(s) = s^i U_1(s); \dots; \frac{\delta z}{\delta A_n}(s) = s^n U_1(s)$$

и

$$\frac{\delta z}{\delta B_0}(s) = -U(s); \dots; \frac{\delta z}{\delta B_j}(s) = -s^j U(s); \dots; \frac{\delta z}{\delta B_{m-1}}(s) = -s^{m-1} U(s)$$

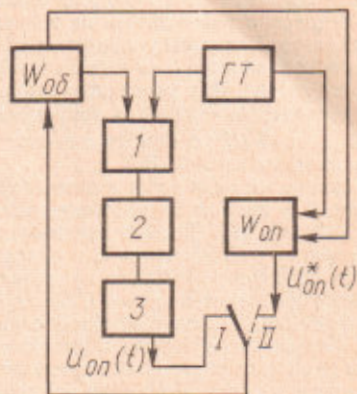
Следовательно, искомые коэффициенты влияния параметров A_i на выходную координату и саму выходную координату системы можно получить на выходе модели уравнения (1) а коэффициенты влияния параметров B_j на выходную координату — из модели уравнения (2)

Метод весьма прост, легко реализуется с помощью универсальных аналоговых решающих устройств, а главное удобен при совмещении этих устройств с вычислителями тренажеров. Для определения всех коэффициентов влияния можно использовать только один исходный сигнал, а основным действием здесь является интегрирование с единичным коэффициентом передачи и инвертирование [8].

Знание коэффициентов влияния при заданной структуре описывающей функции (здесь применена линейная описывающая функция, т. е. передаточная функция) позволяет осу-

Рис. 3. Схема набора на аналоговой вычислительной машине одноканальной задачи параллельного моделирования эргатической системы с оператором и его моделью.

$W_{оп}$ — набор блоков, реализующих модель человека-оператора; $W_{об}$ — набор блоков, моделирующих объект управления (самолет); ГТ — генератор требуемого состояния (требуемой координаты) объекта; $U_{оп}(t)$ — реакция человека-оператора; $U_{оп}^*(t)$ — выходной сигнал модели; П — переключатель режима управления (I — управление осуществляется человеком - оператором II — управление осуществляется моделью оператора).



ществить целенаправленную процедуру синтеза параметров. В самом деле, каждое последующее значение параметра q_i описывающей функции находится по формуле

$$q_i = q_{i-1} - K \frac{\delta h}{\delta q_i},$$

в которой q_1 — значение данного параметра на предыдущем шаге, а K — шаг изменения параметра.

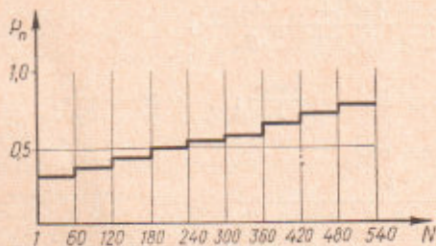


Рис. 4. Оценка степени адаптации по частотам попаданий конечных значений координаты-объекта в допустимую зону.

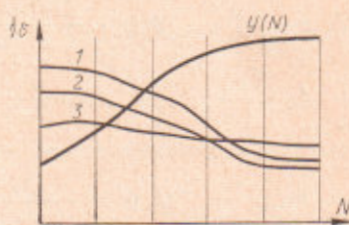


Рис. 5. Изменение интенсивности биопотенциалов мышц-сгибателя кисти правой руки (измерено для трех операторов) и оценки по локальной мере $\bar{Y}(N)$ в процессе адаптации.

Процедура воздействий на описывающую функцию повторяется до тех пор, пока критерий эквивалентности вида

$$h = \int_0^T [u_{оп}(t) - u_{оп}^*(t)]^2 dt \quad (4)$$

не примет минимального значения. Здесь $U_{оп}^*(t)$ — реакция модели на входной сигнал.

Так как модель всегда беднее отображаемого явления, а условие (4) не позволяет достигнуть полной эквивалентности, то осуществляется проверка полноты отображения моделью сенсомоторных особенностей человека-оператора. Для этого формируется моделирующая схема (рис. 3), с помощью которой осуществляется параллельное моделирование с оператором и его моделью. Последняя включалась исследователем в моменты времени, не-

известные оператору. Оператор при этом продолжал «управлять» моделью объекта, но цепь «оператор-объект» разрывалась. Параметры модели оператора корректировались таким образом, чтобы оператор как можно дольше не мог отличить: когда управление происходит с его участием, а когда с подключенной модели. В результате коррекций модели получены записи функций $q(N)$ (где N — число циклов управления) и определены их стабилизированные уровни, характеризующие адаптацию (см. рис. 6).

Вероятность успешности управления определялась по фиксированным значениям координат траектории системы в конечный момент времени управления в группе циклов и последующей оценке частоты успешных управлений. Полученное значение частоты принималось постоянным для данной группы циклов (рис. 4).

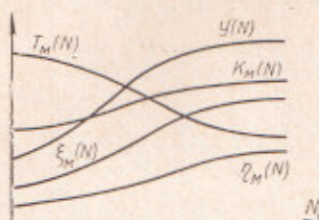


Рис. 6. Изменение параметров описывающей функции человека-оператора совместно с мерой $\bar{Y}(N)$ в процессе адаптации (обучения).

Оцениваются изменения параметров модели в виде передаточной функции второго порядка с реакцией на первую производную стимула; K_M — коэффициент усиления модели; η_M — порционность производной во входном сигнале; T_M — постоянная времени модели; ξ — коэффициент демпфирования, характеризующий изменение влияния тормозных процессов оператора.

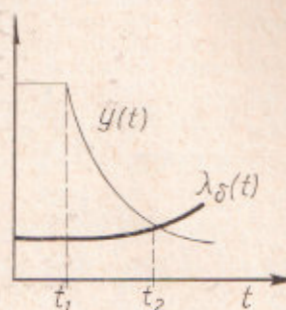


Рис. 7. Сравнение реактивности критериев λ_δ и $\bar{Y}(t)$ при действии внешних возмущений.

t_1 — момент снижения меры $\bar{Y}(t)$ при действии возмущения; t_2 — момент повышения меры $\lambda_\delta(t)$ при действии того же возмущения.

Интенсивность биопотенциалов определялась с помощью следующей методики: за регистрируемые биопотенциалы преобразовывались усилителем биопотенциалов, затем обрабатывались аналоговой схемой, на выходе которой получались интегрированные уровни миограммы. Уровни фиксировались, и определялась кривая адаптации по данному критерию (рис. 5).

На основании обобщения полученных данных (рис. 6) можно сделать вывод о достаточной информативности метода локальных оценок. Хорошо совпадающие с другими методами результаты позволяют пользоваться этим методом в инженерной и инженерно-психологической практике. Вместе с тем некоторые особенности метода локальных оценок делают его более удобным, чем другие методы: не требуется никаких отведений для определения биопотенциалов; оценка производится не по данным о конечном моменте управления в каждом цикле, а по всему циклу; для получения меры необходимо «вывести» из системы только сигнал рассогласования, что всегда удобно при моделировании процесса управления на тренажере и часто осуществимо при натуральных экспериментах.

Теперь рассмотрим случай изменения рабочих показателей оператора, когда он, приспособившись к затрудненным условиям работы, обеспечивает на должном уровне свою жизнедеятельность, но при этом эффективность системы снижается. Как известно, здесь имеет место резкий рост биоэлектрической активности (рис. 7). Интенсивность биопотенциалов возрастает, однако при этом нельзя не заметить и некоторого запаздывания в росте функции $\lambda(t)$ по отношению к уменьшению критерия успеха $\bar{Y}(t)$, определяемого на основании локальной оценки. Возмущение в данной работе имитировалось введением помехи с параметрами, идентичными основному сигналу, а также увеличением времени монотонной работы оператора. При этом оценка изменений в эргатической системе по критерию локальной меры $\bar{Y}(t)$, как видно на рис. 7, обладает минимальным запаздыванием по сравнению с другими приведенными выше критериями, в том числе и интенсивностью биопотенциалов. В то же время изменение биоэлектрической активности часто служит основой для оценки не только чувствительности оператора к внешним воздействиям, но и степени готовности его к выполнению задания (теста) по управлению данным объектом.

Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод о практической применимости критерия локальной оценки $\bar{Y}(t)$ не только при измерении степени обученности операторов

в эргатических системах, но и для определения способности оператора продолжать выполнение данного задания. В последнем случае возникает возможность формирования соответствующего сигнала, предупреждающего о необходимости прекращения задания (теста) до наступления нежелательных физиологических или биологических явлений. Дальнейшие исследования позволят получить достаточные статистические данные для окончательной обработки системы оценок с применением локальной меры.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Адамс Д. Поведение человека-оператора в процессе слежения. В кн.: «Инженерная психология». М., «Прогресс», 1964.
2. Быховский М. Л. Чувствительность и динамическая точность систем автоматического управления. «Известия АН СССР, Техническая кибернетика», вып. 6, 1964.
3. Ломов Б. Ф. Человек и техника, изд. 2-е. М., «Советское радио», 1964.
4. Мюллер Ф. Телеуправление. М., Изд-во иностр. лит., 1957.
5. Полян Е. П., Ежов М. Д. Электронные узлы биоэлектрической системы управления. «Протезирование и протезостроение», сб. трудов ЦНИИПИ, вып. VII (XII). М., 1963.
6. Таран В. А., Коротков А. Д. О количественной оценке обученности пилотов на тренажерах. «Вопросы психологии», 1966, № 5.
7. Таран В. А., Брудник С. С., Кофанов Ю. Н. Математические вопросы автоматизации производственных процессов. М., «Высшая школа», 1968.
8. Таран В. А., Кофанов Ю. Н. Определение параметров передаточной функции человека-оператора с помощью аналоговой вычислительной машины. «Вопросы психологии», 1969, № 3.
9. Эшби У. Р. Конструкция мозга. М., «Мир», 1964.

