

УДК 658.336:007:681.3.06

Н.Н. Шибицкая

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ В ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ

Изложена методика идентификации параметров объекта управления в эргатической системе обучения. Проведен анализ информационных процессов в системе в зависимости от параметров модели обучаемого. Исследовано влияние числа повторений на процессы усвоения и сохранения информации в памяти оператора.

Проблема взаимодействия оператора и технической системы исследуется в инженерной психологии с целью формирования оптимальных и безопасных законов управления эргатической системой.

При проектировании эргатических систем обучения проблемным является вопрос моделирования информационного взаимодействия объектов и разработка модели оператора как звена системы. В последнее время уделяется большое внимание вопросам экспериментального определения (идентификации) динамических моделей систем управления. Как следствие, возникла необходимость разработки и исследования моделей процесса обучения, в частности, процессов усвоения и сохранения знаний операторами эргатических систем по экспериментально определяемым данным «выход - вход».

В теории автоматических систем под идентификацией понимают процесс определения разностного или дифференциального уравнения, описывающего физические явления в системе в соответствии с некоторым принятым ранее критерием, и задача идентификации формулируется следующим образом.

Пусть имеется объект управления, описываемый оператором $\Psi(k, u, t)$ и принадлежащий некоторому классу моделей Ω_Ψ , где $k (k_1, \dots, k_n, \dots, k_n)$ - вектор параметров системы, u - входной сигнал, t - время. На вход объекта управления поступают сигналы $u(t)$, принадлежащие множеству сигналов Ω_u . Методика идентификации заключается в выборе некоторого оператора $\Psi^*(k^*, u, t)$ из множества моделей Ω_{Ψ^*} , который для того же класса входных сигналов Ω_u будет достаточно близким к оператору $\Psi(k, u, t)$, т.е. будет описывать процессы на выходе объекта с требуемой точностью. Таким образом, математическая модель $\Psi^*(k^*, u, t)$ является решением задачи идентификации.

Практический интерес представляет исследование возможности применения аналитических методов идентификации для разработки моделей восприятия и сохранения информации оператором в процессе обучения, когда сигналами управления являются информационные объекты (ИО). Рассмотрим применение аналитических методов идентификации для синтеза параметров эргатической системы обучения на основе экспертного оценивания знаний. Для идентификации параметров объекта управления воспользуемся методом тест-сигналов [1].

Пусть на вход эргатической системы подаются тест-сигналы в виде контрольных вопросов, индицирующих степень усвоения знаний обучаемым, и фиксируется выходной сигнал, представляющий собой реакцию системы. В результате обработки данной информации определяется вид и порядок линейного дифференциального уравнения, описывающего идентифицируемую систему.

Закон усвоения и сохранения информации в памяти оператора предлагается представить в виде дифференциального уравнения второго порядка [2]. Этот выбор обусловлен следующими соображениями. Входной величиной $u(t)$ является поток ИО на заданном интервале времени от управляющего органа - обучающей системы. Выходная величина $y(t)$ в задан-

ный момент t_0 времени характеризуется начальным значением уровня информации – $y_0(t_0)$, скоростью ее изменения в памяти оператора – $y'(t_0)$ и ускорением – $y''(t_0)$, обусловленным переходными процессами в системе.

Согласно работе [1], если предполагаемый порядок дифференциального уравнения завышен, то в результате решения системы алгебраических уравнений, один или несколько коэффициентов левой части будут равными нулю, что для устойчивого объекта по условию Стодолы недопустимо. Последующие расчеты подтвердили тезис о выборе порядка дифференциального уравнения не выше второго. При занижении порядка система не имеет решения.

Подавая на вход эргатической системы обучения тест-сигнал $u(t)$ в виде ИО, измерим и зафиксируем значения выходной величины $y(t)$ и ее производных в определенные моменты времени на заданном интервале. Величина $y(t)$ характеризует процесс накопления и усвоения элементов знаний обучаемым.

Предположим, что эргатическая система обучения в целом описывается дифференциальным уравнением:

$$k_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + k_1 \frac{dy(t)}{dt} + k_0 y(t) = k u(t),$$

где $y(t)$ – измеряемая выходная величина; $u(t)$ – заданная входная величина (тест-сигнал), представляющая элемент знаний; k_i ($i = 0, 1 \dots n$) – параметры системы, описывающие состояние и психофизиологические характеристики оператора.

Предполагается, что коэффициент k_2 описывает инерционность мышления оператора в процессе обучения, связанную с осмыслением информации и переводом ее из кратковременной в долговременную память.

Коэффициент k_1 является обобщенным параметром системы, определяющим скорость усвоения информации оператором. Коэффициент k_0 определяет длительность сохранения или скорость забывания информации оператором.

Процесс обучения состоит из подпроцессов накопления знаний оператором (усвоения) и забывания. Временные характеристики системы описывают процессы приобретения и сохранения знаний оператором, а также определяют скорость и длительность накопления и затухания информации в долговременной памяти.

Для параметрического синтеза эргатической системы сформируем систему алгебраических уравнений в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} y''(t_1) & y'(t_1) & y(t_1) \\ y''(t_2) & y'(t_2) & y(t_2) \\ y''(t_3) & y'(t_3) & y(t_3) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} k_2 \\ k_1 \\ k_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u(t_1) \\ u(t_2) \\ u(t_3) \end{bmatrix}$$

Для расчета параметров системы зафиксируем значения функции $y(t)$ и ее производных в граничных точках подпроцессов. Решая систему уравнений, находим значение вектора $[k_0, k_1, k_2]$, на основании которого можно построить математическую модель в виде дифференциального уравнения, описывающего процесс усвоения и забывания информации оператором, что позволяет организовать управление процессом обучения и прогнозировать длительность сохранения и уровень накопленных знаний (рис. 1).

В случае, когда начальный уровень обученности оператора не равен нулю $y(0)=y_0$, функция $y_1(t)$ примет вид:

$$y_1(t) = \frac{k}{k_2 p_2 p_1} + \frac{k + k_2 p_1 (v + y_0 p_1) + y_0 p_1 k_1}{k_2 p_1 (p_1 - p_2)} e^{p_1 t} + \frac{k + k_2 p_2 (v + y_0 p_2) + y_0 p_2 k_1}{k_2 p_2 (p_2 - p_1)} e^{p_2 t}. \quad (1)$$

При управлении эргатической системой обучения представляет интерес выявление закономерности сохранения информации в долговременной памяти оператора. Приведенные аналитические выводы позволяют представить закон сохранения в следующем виде:

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t), \quad (2)$$

$$y_2(t) = \frac{k}{k_2 p_2 p_1} \frac{-k + y_0 p_1 (k_1 + k_2)}{k_2 p_1 (p_1 - p_2)} e^{p_1(t-t_0)} + \frac{-k + y_0 p_2 (k_1 + k_2)}{k_2 p_2 (p_2 - p_1)} e^{p_2(t-t_0)} \quad (3)$$

Полученная модель (1–3) объекта обучения позволяет определить наиболее трудные для усвоения элементы знаний для групп операторов с различными уровнями обученности и психофизиологическими характеристиками.

Ниже приведены графики переходных информационных процессов для операторов, имеющих различные параметры модели, при одинаковом по величине и длительности управляющем воздействии (рис. 1).

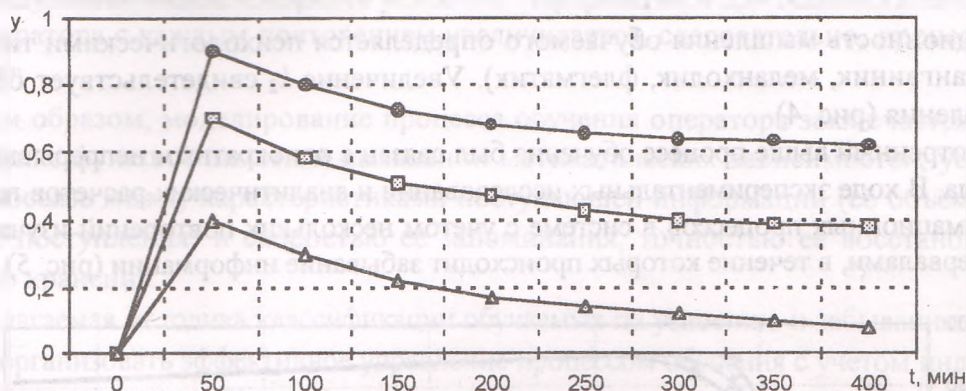


Рис. 1. Уровень знаний обучаемых при одинаковом входном воздействии

На основании анализа полученных зависимостей можно сделать следующие выводы:

- для достижения всеми операторами заданного уровня обученности требуется формирование управляющего сигнала различной длительности;
- скорость усвоения и забывания знаний обучаемым находится в обратно пропорциональной зависимости – чем больше и быстрее усвоена информация, тем медленнее она забывается, что свидетельствует об определенном психологическом типе.

В ходе экспериментальных исследований и исходя из традиционной классификации оценок, основанной на терминах: «плохо», «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично», обучаемые были разбиты на группы. Первая группа, показавшая неудовлетворительные результаты особого интереса не представляет, а анализ трех следующих групп позволил выявить интересную закономерность.

Исследуем простейшие математические зависимости между количеством усваиваемой человеком информации и величинами, характеризующими процесс поступления и хранения информации оператором.

На основании анализа полученных зависимостей предлагается классифицировать обучаемых по группам в зависимости от параметров модели k_1 , k_2 , k_0 , характеризующих психофизиологические особенности индивидуумов.

В ходе экспериментальных исследований и аналитических расчетов по формулам (1–3) выявлено, что обобщенным параметром, характеризующим скорость и уровень усвоения информации оператором, является параметр k_1 (рис. 2). Чем меньше значение k_1 , тем выше уровень усвоенных знаний.

Параметр k_0 модели оператора характеризует способность длительного сохранения информации в долговременной памяти, которая с ростом k_0 уменьшается (рис. 3).

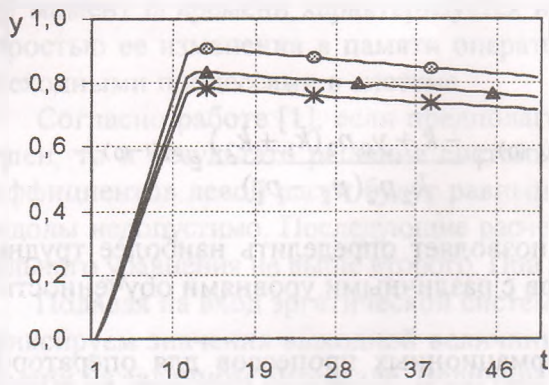


Рис. 2. Уровень усвоения знаний

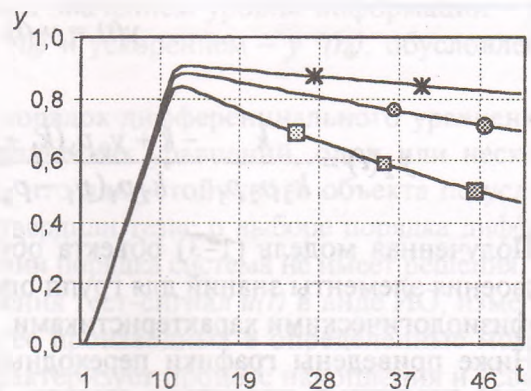


Рис. 3. Длительность сохранения знаний

Инерционность мышления обучаемого определяется психологическими типами людей (холерик, сангвиник, меланхолик, флегматик). Увеличение k_2 свидетельствует об инерционности мышления (рис. 4).

Рассмотренный выше процесс обучения был связан с однократным непрерывным изучением материала. В ходе экспериментальных исследований и аналитических расчетов получены модели информационных процессов в системе с учетом нескольких повторений изучаемого материала с интервалами, в течение которых происходит забывание информации (рис. 5).

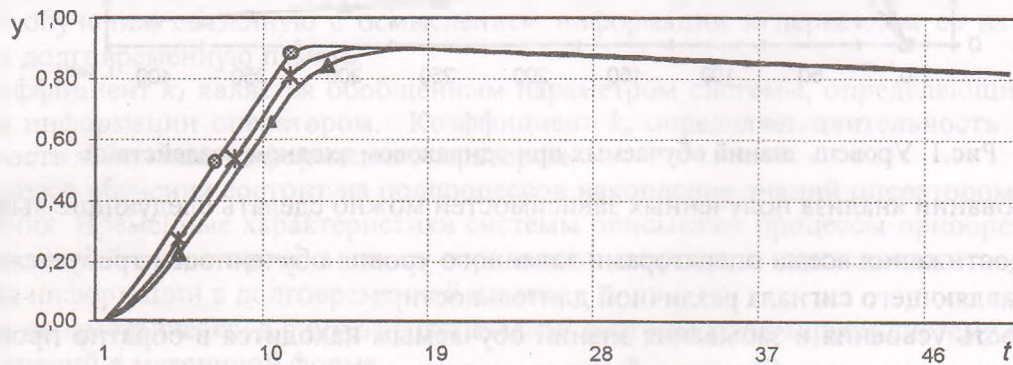


Рис. 4. Инерционность мышления

Так как коэффициенты модели оператора отражают его состояния и свойства по переработке информации, то процесс обучения можно разбить на подпроцессы и провести n -этапный анализ параметров модели оператора с учетом его уровня обученности (см. таблицу), где y_0 – начальный уровень обученности, y_{max} – максимально достигнутый уровень после переработки порции информации.

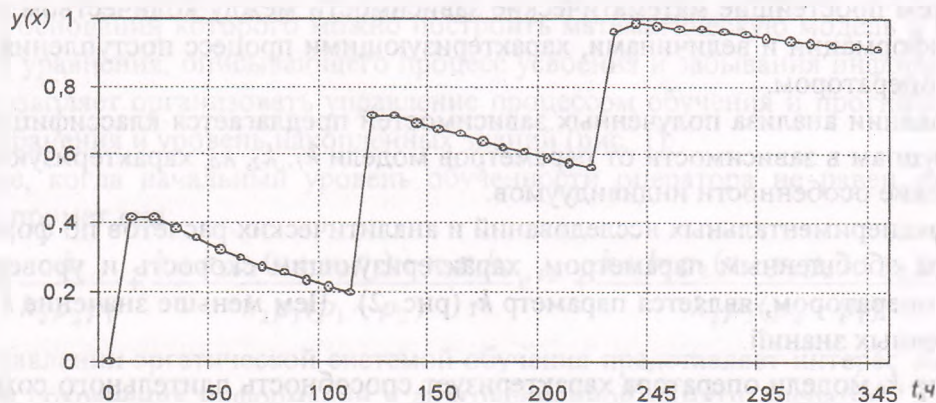


Рис. 5. Усвоение информации в процессе повторений

Зависимость параметров объекта управления от числа повторений

| Параметр | Число повторений | | |
|-----------|------------------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 |
| k_0 | 0,191 | 0,052 | 0,027 |
| k_1 | 23,095 | 19,061 | 12,32 |
| k_2 | 19,052 | 7,306 | 5,716 |
| y_0 | 0 | 0.2 | 0.55 |
| y_{max} | 0,4 | 0.7 | 1 |

Проведенные экспериментальные исследования и расчет по формулам (1–3) позволяют сделать следующий вывод. Скорость усвоения информации и длительность ее сохранения в памяти оператора с каждым повторением увеличивается, следовательно, процесс забывания замедляется.

Таким образом, моделирование процесса обучения оператора заключается в количественной оценке функций памяти и выявлении математических зависимостей, устанавливающих взаимосвязь между характеристиками поступающей информации (её объёмом и типом, скоростью поступления) и скоростью её запоминания, точностью её восстановления, длительностью хранения.

Предлагаемая методика классификации обучаемых по усвоению и забыванию информации позволяет организовать эффективное управление процессом обучения с учетом индивидуальных характеристик операторов. Классификационная характеристика для групп обучаемых определяется отношениями коэффициентов k_2 , k_1 , k_0 при заданном тестовом воздействии.

Практическое применение описанной выше методики психофизиологических измерений позволяет: оптимизировать взаимодействие системы управления с оператором в процессе обучения, позволяя индивидуально варьировать задания по содержанию, форме исполнения, инструктажа и т.п.; осуществить индивидуальный подход в обучении, распределяя задания по степени сложности, форме изложения материала, объему, мотивации и переводя процесс обучения и развития в процесс самообучения и саморазвития; фиксировать количественные изменения, происходящие в структуре психофизиологической сферы субъекта под влиянием тех или иных воздействий, что необходимо как при анализе результатов процесса обучения, так и при формировании умений осуществлять трудовую деятельность; прогнозировать уровень подготовки и сохранения навыков у операторов с течением времени для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации эргатических систем.

Список литературы

1. Шевелев А.Г. Идентификация динамических объектов с многими регулируемыми величинами / Проблемы моделирования и цифровой обработки сигнала: Сб. научн. тр. – К.: КМУГА, 1996. – С. 26-30.
2. Шибцкая Н.Н. Метод идентификации объектов в эргатической системе управления процессом обучения. // Кибернетика и вычислительная техника. – К., 1999. Вып.121.– С. 52-58.

Стаття надійшла до редакції 17 грудня 1999 року.