

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДДЕРЖАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.А. Тихонова

Известно, что исследованию процессов поддержания функциональных характеристик специалистов (ПФХС) посвящено большое количество работ [1,5,8,16,19]. Однако интерес к изучению этого процесса не ослабевает. Он продиктован, с одной стороны, важностью исследования механизмов ПФХС для понимания функционирования летного состава в целом, а с другой – большой практической значимостью познания законов ПФХС для организации эффективного обучения представителей практически любой профессии, в частности, особенно это важно для летного инженерно-технического состава авиакомпаний.

Для уточнения терминов «ПФХС» и «обучение» введем следующие определения. Обучение будем называть процесс целенаправленного научения какой-либо системы тому или иному поведению, который направляется и в основном детерминируется обучающей системой (например, обучение в летных училищах). Под ПФХС будем подразумевать процесс научения в рамках специальной обучающей системы (с гипертекстовыми технологиями переподготовки специалистов). Примем эти определения в качестве рабочих, помня об относительной условности такого разграничения.

Общее определение ПФХС опирается на выделение структурно-функциональной основы этого процесса без учета конкретных условий эксперимента и формулируется как систематическое изменение поведения при повторении одинаковой ситуации [15]. Под систематичностью здесь понимается изменение в определенном направлении. С целью исключения из понятия ПФХС модификаций поведения, связанных с насыщением, сенсорной адаптацией, мышечным утомлением и т.п., обычно вводят следующие ограничения: модификация поведения, соответствующая ПФХС, должна

быть относительно продолжительной, проявляется не только в количественных, но и в качественных изменениях поведения [16].

К наиболее известным теориям относятся теории: условных рефлексов, подкрепления связей, формирования когнитивных схем, опосредствования, уравнивания и др. [16]. В этих концепциях предлагается та или иная структура процессов, порождающих определенную реакцию на предъявленную ситуацию в зависимости от условий и прошлого опыта.

Во всех случаях ПФХС подразумевает улучшение некоторого показателя качества деятельности. В роли такого показателя выступает частота верного ответа [8], дисперсия ошибки [17], различие между реальной и нормативной стратегией поведения [6] и т.п. В работе [6] предлагалось рассматривать ПФХС как изменение целостной системы индивид – ситуация. В инженерно-психологических исследованиях процесс ПФХС иногда может рассматриваться как изменение состояния оператора (летчика) при неизменном качестве результата деятельности [17].

Одновременно с развитием психологических теорий научения появлялись и математические модели, описывающие этот процесс. В исследованиях процесс научения широкое распространение получили математические модели [1, 4, 11]. В качестве математического аппарата при построении таких моделей широко использовались теории автоматического регулирования, марковских цепей, стохастических автоматов и др. [4, 11, 19].

Большинство работ, появившихся в 60–70-е годы прошлого столетия, было посвящено построению математических моделей ПФХС, описывающих усредненные результаты исследования процесс поддержания характеристики у группы испытуемых. Получаемые в этих работах зависимости качества решения какой-либо задачи от количества повторений, были названы кривыми ПФХС.

В последнее время внимание исследователей все больше привлекает такие факты, как не монотонность кривых ПФХС [5], существенное отличие индивидуальных кривых ПФХС от усредненных по группе испытуемых [8], влияние индивидуальных ка-

честв испытуемых на процесс поддержания знаний и умения [16]. Соответственно предпринимаются попытки отразить указанные факты в математических моделях ПФХС.

Цель настоящей работы – рассмотреть процесс ПФХС с точки зрения взаимодействия систем; провести на этой основе сравнительный анализ математических моделей ПФХС; на примере экспериментального исследования ПФХС при решении задач знаково-понятийной идентификации рассмотреть проблемы, связанные с построением моделей индивидуальных процессов ПФХС.

Остановимся на ряде понятий, позволяющих углубить понимание процесса ПФХС, как изменения взаимодействия в рамках системы «специалист – среда».

Для проведения теоретического анализа различных моделей процессов ПФХС необходимо представить эти модели на каком-либо одном формальном языке. Так как исследуемые модели разрабатывались с использованием различных математических аппаратов, непосредственное их сравнение невозможно. В данной статье для обеспечения процессов моделирования на одном языке вводим формальную систему понятий, в которой по возможности будем представлять все исследуемые модели. В качестве такой системы можно было бы предложить одну из известных теорий. Однако многие теории исходят из технократического подхода к описанию систем, что делает необходимым при их использовании в психологии находить эквиваленты, например, таким понятиям, как «единица информации», «алфавит сигналов», «множество входов», «канал связи» и т.п., т.е. подвести множество эмпирических фактов под готовую сетку отношений.

Такой путь малоэффективен и часто приводит к тому, что при неудачном накладывании некоторой понятийной сетки на множество эмпирических фактов корректируется не сетка понятий, а производится урезание эмпирического материала с целью подогнать его под заданную схему. Избежать такого положения дел в какой-то степени позволяет использование понятий высокого уровня абстракции. Так как заранее трудно строго ограничить круг иссле-

двух моделей, в основу были положены самые общие понятия математической теории множеств и общей теории систем [14]. Очевидно, что любой поведенческий акт или последовательность актов является определенным процессом взаимодействия индивида с окружающей средой.

Для описания такого взаимодействия будем использовать следующие понятия. Пусть  $S$  – множество состояний окружающей среды,  $Q$  – множество состояний системы. Действием назовем оператор, переводящий систему и среду из одного состояния в другое. Множество действий обозначим через  $D$ . Такое определение действия подразумевает, что оператор  $d \in D$  однозначно задает результат действия, т.е. состояние среды, которое реализуется после его выполнения. Тогда процесс взаимодействия может быть описан с помощью следующего набора абстрактных объектов:  $M = \langle S, Q, D, \varphi, \psi \rangle$ , где функции  $\varphi$  и  $\psi$  задают процесс изменения состояний системы и выбора действия в зависимости от предыдущих состояний системы и среды. Соответственно

$$\begin{aligned} \varphi &: S \times Q \rightarrow Q, \\ \psi &: Q \rightarrow D \end{aligned}$$

(1)

Назовем  $M$  обобщенной поведенческой моделью (ОПМ). Введенное определение ОПМ полностью совпадает с определением конечного автомата [18]. Однако мы предполагаем, что на множестве  $Q$  может быть определена дополнительная структура, и функции  $\varphi$  и  $\psi$  разбиты на множество функций. Если функции  $\varphi$  и  $\psi$  рассматривать как распределение условных вероятностей, а множества  $S$ ,  $Q$  и  $D$  – как пространства элементарных событий, то получим определение стохастической обобщенной поведенческой модели.

Процесс взаимодействия, порождаемый моделью, будем представлять с помощью поведенческой функции, которая для детерминированного случая обозначается как  $V(M, q_0, s)$ , а для стохастических моделей  $B_S(M, q_0, \hat{s})$ , где  $M = \langle S, Q, D, \varphi, \psi \rangle$  –

обобщенная поведенческая модель (или ее частный случай),  $q_0$  – начальное состояние,  $\hat{S} = (s_1 \dots s_n)$  – последовательность состояний среды. Значением  $B(M, q_0, s)$  является соответствующая цепочка действий  $d = (d_1 \dots d_n)$ , а  $B_S(M, q_0, \hat{S})$  представляет собой распределение вероятностей на множестве реакций  $\hat{d}$ , т.е.

$$B_S(M, q_0, \hat{S}) = P_T(\hat{d}|s).$$

При сравнении моделей будем сопоставлять их структурные и функциональные характеристики.

Модели  $M' = \langle S', Q', D', \varphi', \psi' \rangle$  и  $M'' = \langle S'', Q'', D'', \varphi'', \psi'' \rangle$  будем называть структурно-изоморфными, если между этими элементами и состояниями элементов можно установить взаимнооднозначное соответствие, такое, что связи между этими элементами у модели  $M'$  такими же, как и у модели  $M''$ . В случае стохастической ОПМ это означает равенство условных вероятностей переходов между состояниями элементов моделей. Если в моделях  $M'$  и  $M''$  множества состояний  $Q'$  и  $Q''$  тождественно равны (т.е.  $Q' = Q''$ ) и соответствующие связи  $\varphi', \psi'$  и  $\varphi'', \psi''$  также равны, то  $M'$  и  $M''$  обладают эквивалентной структурой.

Функциональные характеристики моделей выражены в соответствующих поведенческих функциях. Будем говорить, что модель  $M'$  и  $M''$  реализуют изоморфное поведение, если между последовательностями  $\hat{S}' \in S$  и  $\hat{S}'' \in S$  можно установить такое взаимнооднозначное соответствие, что между последовательностями  $\hat{d}' = B(M', q_0, \hat{S}')$  и  $\hat{d}'' = B(M'', q_0, \hat{S}'')$  также будет существовать взаимнооднозначное соответствие. Формально это означает, что существуют взаимнооднозначные отображения  $\alpha$  и  $\beta$  такие, что диаграмма

$$\begin{array}{ccc}
 \hat{s}' & \xrightarrow{\alpha} & \hat{s}'' \\
 V(M', q_0, \hat{s}') \downarrow & & \downarrow V(M'', q_0, \hat{s}'') \\
 \hat{d}' & \xrightarrow{\beta} & \hat{d}''
 \end{array}$$

коммутативна.

Изоморфизм поведения говорит о том, что нет качественных различий между поведением одной и другой модели, разница только в обозначениях.

Если мы применяем различные модели для описания поведения в одной и той же реальной ситуации, т.е. когда множества  $S$  и  $D$  заранее определены и тождественны для всех моделей, то можно говорить об эквивалентном поведении. В этом случае для моделей  $M'$  и  $M''$  должно выполняться равенство  $V(M', q_0, \hat{s}) = V(M'', q_0, \hat{s})$ .

Как было отмечено выше, процесс ПФХС обычно представляется как возрастание некоторого показателя качества деятельности. С помощью этого показателя оценивается выполнение того или иного действия в зависимости от возникшего состояния среды. Формально это выражается заданием некоторой функции  $L$  на множестве пар  $(s, d)$ , т.е.  $L(s, d)$ .

Пусть состояние среды  $s_1, \dots, s_n$  реализуется в последовательные дискретные моменты времени  $t = 1, 2, \dots, n$ . В ответ на них человек производит некоторые действия  $d_1, \dots, d_n$ , тогда значения  $L(s_1, d_1) = L_1, \dots, L(s_n, d_n) = L_n$  можно представить как значения некоторой функции  $L_0(t)$ , где  $t$  дискретно.

Если человеку несколько раз предъявляется ситуация  $s$ , а  $d_k$  – действие, выполняемое им при  $k$ -м предъявлении, то значения  $L(s, d_k) = L_k, k = 1, \dots, n$  также можно представить как значения некоторой функции  $L_1(k)$ . Функции  $L_0(t)$  и  $L_1(k)$  обычно называют кривыми ПФХС. В качестве характеристик процесс ПФХС берутся параметры кривых научения, такие, как скорость научения, изме-

нение ее и т.п. Наиболее существенный параметр – время  $t^*$  или количество повторений  $K^*$ , необходимые для выхода на плато, т.е. время или количество повторений, после которого показатель качества деятельности практически перестает возрастать.

Эмпирическое содержание таких параметров кривой ПФХС, как скорость, ее изменение, момент выхода на плато, достаточно очевидно. Площадь под кривой ПФХС, как предложено в работе [6], может служить оценкой сложности выполняемой деятельности.

Рассмотрим теперь эмпирическое содержание функции  $L(s, d)$ . Эта функция может быть порождена на основе индивидуального опыта человека и имплицитно представлена только в психике индивида. В этом случае процесс научения можно наблюдать, только фиксируя собственное состояние человека.

Чаще функция  $L(s, d)$  представлена как некоторый нормативно одобренный критерий оценки действий в той или иной ситуации, тогда его формализация позволяет фиксировать процесс ПФХС через изменение значения  $L(s, d)$ . В экспериментальных исследованиях функция  $L(s, d)$  обычно представлена в форме задачи, которую предлагают решить испытуемому.

С помощью функции  $L(s, d)$  можно количественно сравнить процессы взаимодействия, реализуемые той или иной поведенческой моделью.

Таким образом, функционально процесс изучения представляется как систематическое изменение взаимодействия человека с окружающей средой. Такое представление в основном принимается большинством исследователей. Однако, оно не дает ответа на вопрос о причинах изменения, т.е. о строении внутренних механизмов, составляющих основу процесса ПФХС. Различные психологические теории предлагают различные трактовки механизма изменения организации системы, приводящего к перестройке поведения. Введенные в разделе понятия позволяют перейти к сравнительному анализу различных моделей ПФХС и сопоставлению их с психологическими теориями.

## Библиографический список

1. *Аткинсон Р., Бауэр Г., Кротерс Э.* Введение в математическую теорию обучения. – М., 1969.
2. *Бонгард М.М.* Проблема узнавания. – М., 1967.
3. *Брунер Дж.* Психология познания. – М., 1977.
4. *Буш Р., Мостеллер Ф.* Стохастические модели обучаемости. – М., 1962.
5. *Венда В.Ф.* Перспективы развития психологической теории обучения операторов. – Психол. журн., 1980, т.1, №4. – С. 46–83.
6. *Венда В.Ф.* Инженерная психология: синтез систем отображения информации. – М., 1875.
7. *Выготский Л.С.* Мышление и речь. – Соч. – М., 1982, т.2.
8. *Дрынков А.В.* Вероятностные модели процесса научения в задачах идентификации. – Психол.журн., 1983, т.4, №3. – С. 102–107.
9. *Дрынков А.В.* Метод оценки необходимой длины экспериментальной выборки в задачах обнаружения и идентификации. – В кн.: Психофизика дискретных и непрерывных задач. – М. – С. 100–108.
10. Классификация и кластер. – М., 1980.
11. *Крылов В.Ю.* Нормативные модели принятия решений при вероятностном выборе. – В кн.: Нормативные и дескриптивные модели принятия решений. – М., 1981. – С. 39–46.
12. *Линдсей П., Норманн Д.* Переработка информации у человека. – М., 1974.
13. *Ломов Б.Ф.* Системность как принцип математического моделирования в психологии. – Вопр кибернетики, 1979, вып.50. – С. 3–18.
14. *Месарович М., Токаха Я.* Общая теория систем: математические основы. – М., 1978.
15. *Минский М., Пейперт С.* Перцептроны. – М., 1971.
16. *Манпелье Ж.* Научение. – В кн.: Экспериментальная психология/ Под ред. *П.Фресс, Ж.Пиаже.* – М., 1973, вып.5. – С. 59–137.
17. Основы инженерной психологии / Под ред. *Б.Ф.Ломова.* – М., 1977.
18. *Розенблатт Ф.* Принципы нейродинамики: Перцептрон и теория механизмов мозга. – М., 1965.
19. Самообучающиеся автоматические системы. – М., 1966.
20. *Соколов Е.Н.* Психофизиология принятия решения. – В кн.: Нормативные и дескриптивные модели принятия решений. – М., 1981. – С. 39–46.