

УДК 623:378

П.П. Чабаненко, П.Н. Берлад

Академия военно-морских сил имени П.С.Нахимова, Севастополь

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРА ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ ОБУЧЕНИЯ

Статья содержит решение задачи математического моделирования трансформационного обучения оператора человеко-машинной системы (ЧМС). Математическая модель трансформационного обучения оператора ЧМС разработана на основе структурных моделей обучения. Работоспособность модели показана в аналитике и подкреплена расчетами.

Ключевые слова: обучение оператора человеко-машинной системы, структурные модели обучения, математическая модель трансформационного обучения оператора.

Введение

Постановка проблемы. Одна из главных особенностей операторских профессий – высокая степень ответственности за ошибки. Последствия ошибок оператора могут носить катастрофический характер в масштабах целого региона, страны и даже нескольких государств (авария на Чернобыльской АЭС).

Как следствие, обучение оператора сложных человеко-машинных систем является **проблемой**.

В результате обучения первоначальные индивидуальные свойства человека должны быть развиты и адаптированы к содержательно-предметной и процессуально-технологической сторонам профессии [1, 2]. У обучаемых должна быть сформирована концептуальная модель решения конкретных профессиональных задач.

Особое внимание должно уделяться формированию у оператора образно-понятийных блоков действий, соответствующих возможным авариям [4].

Анализ литературы свидетельствует о том, что обучение оператора традиционно рассматривалось в пределах одной совершенствующейся структуры и потому описывалось монотонными экспоненциальными кривыми.

Аппроксимация процессов обучения монотонной экспоненциальной кривой стала особенно прочной в прикладных отраслях психологии и эргономики. Однако, во многих экспериментах были выявлены несовпадения реального процесса обучения с монотонной экспонентой.

Теоретико-гипотетическим объяснением указанного несовпадения является «трансформационная теория обучения» В.Ф. Венды [5]. Суть этой теории состоит в том, что по мере профессионализации человека-оператора достигнутые уровни знаний и умений трансформируются в более высокие уровни. Трансформации перемежаются периодами

стабилизации, а при затруднениях возможен возврат (провалы) на предыдущие уровни. Переход от монотонных моделей обучения к трансформационным моделям описывает динамику обучения как волнообразный процесс с неоднозначным соотношением предыдущих и последующих максимумов и спадами между ними. Трансформационность обучения согласуется с образованием у операторов новой стратегии мышления на основе полученных в ходе тренировок знаний, навыков и умений, а также их интерференции между собой. Внедрению в практику отмеченного концептуального подхода к обучению мешало отсутствие аналитических выражений, отображающих трансформационное обучение объективными количественными характеристиками – показателями качества этого процесса в его динамике.

Известные математические модели аппарата функциональных сетей [6] дают финальные показатели качества деятельности оператора (установившегося, а не переходного процесса) и не годятся для этой цели. С другой стороны, критика монотонных моделей обучения справедлива, опирается на плодотворную психолого-педагогическую идею, но не является теорией, если следовать известным мнениям выдающихся ученых о соотношении науки и математики.

Таким образом, математическое моделирование такого процесса является важной **научной проблемой**.

Целью статьи является решение задачи математического моделирования трансформационного обучения оператора ЧМС одномерной аналитической моделью.

Основная часть

Выделим стадии обучения (рис. 1):

- 1 – «освоение блоков операций (БО) 1 типа»;
- 2 – «решение БО 1-типа и первичное освоение БО 2-типа с вытеснением БО 1 типа»;

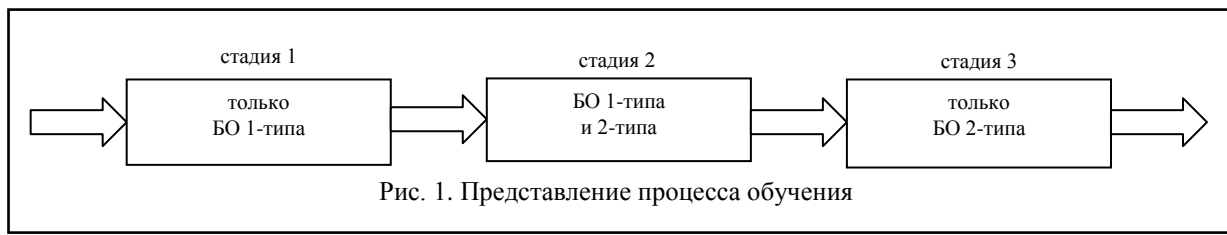


Рис. 1. Представление процесса обучения

3 – «продолжение освоения и решения БО 2-типа». К основным допущениям отнесем:

- постоянство суммы чисел БО разного типа для любого шага i процесса обучения;
- равновероятное представление обучаемому БО из общего их числа N .

БО могут выполняться: быстро и безошибочно; безошибочно, но медленно; с ошибками, но быстро; с ошибками и медленно. Степень освоенности БО характеризуется безошибочностью и временем (скоростью) их выполнения в количественных показателях.

В работе [7] изложена методология и техника разработки структурных моделей обучения оператора выполнению БО постоянного перечня. Показано, что эти модели имеют вид совокупности функций:

$$\bar{y}_i = A_{\text{и}} a^{i-1} + B_{\text{и}} \beta^{i-1} + C_{\text{и}} \gamma^{i-1} + D_{\text{и}} \delta^{i-1}, \quad i \geq 1, \quad (1)$$

где \bar{y}_i – среднее число БО, освоенных к моменту i по качеству $U = (X, Y, Z)$ их выполнения;

X, Y, Z – числа задач, освоенных по: безошибочности (X), скорости (Y); как по безошибочности, так и по скорости (Z) выполнения;

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ – математические ожидания этих чисел ($x \in X, y \in Y, z \in Z$);

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – простые корни характеристического уравнения системы уравнений (1), причем $\alpha = 1$;

$A_{\text{и}}, B_{\text{и}}, C_{\text{и}}, D_{\text{и}}$ – коэффициенты.

Размерность системы (1) можно понизить, полагая X числом БО, освоенных полностью (например: по безошибочности и своевременности) или же по одному определяющему качеству. Тогда динамика освоения БО представляется одномерной моделью:

$$\bar{x}_i = \theta_1 - (\theta_1 - \bar{x}_0) a_1^{i-1}, \quad i \geq 1 \quad (2)$$

где $\theta_1 = N \cdot \pi_2 / (\pi_1 + \pi_2)$, $a_1 = 1 - (\pi_1 + \pi_2) / N$,

$$\pi_1 = (P_1 K^{10} + Q_1 K^{01}) \cdot (1 - p_1),$$

$$\pi_2 = (P_0 K^{11} + Q_0 K^{00}) p_0;$$

\bar{x}_0 – начальный уровень освоенности БО;

$P_1(p_0)$ – вероятность успешного выполнения освоенного (неосвоенного) БО;

$$Q_0 = 1 - P_0, \quad Q_1 = 1 - P_1;$$

K^{ij} – условная вероятность принятия решения

j при контроле правильности выполнения БО с фактическим результатом i ($i = 0, 1, j = 0, 1, 1$ – успех, 0 – неудача);

$p_1(p_0)$ – вероятность сохранения правильного (исправления неправильного) алгоритма выполнения БО по результатам контроля.

Модели (1) в общем или (2) в частном случае могут использоваться на стадиях 1, 3. Для определенности ограничимся одномерным случаем (2) на стадии 1, понимая под x_1 число освоенных БО 1-типа:

$$\bar{x}_{1i} = \theta_1 - (\theta_1 - \bar{x}_1) a_1^{i-1}, \quad i \geq 1. \quad (3)$$

И аналогичным:

$$\bar{x}_{2j} = \theta_2 - (\theta_2 - \bar{x}_2) a_2^{j-1}, \quad j \geq 1 \quad (4)$$

на стадии 3, понимая под x_2 число освоенных БО 2-типа, а под j – нумерацию шагов на этой стадии.

Заметим, что все отмеченные выше характеристики для стадии 1 могут отличаться от аналогичных характеристик для стадии 3, и на этих стадиях выполняются только однородные БО, а их число фиксировано ($N = \text{const}$). Поэтому при принятых допущениях соответствующие стадийные процессы представляются однородной марковской цепью: одношаговые вероятности перехода обучаемого из состояния, характеризуемого числом освоенных БО в начале шага процесса, в состояние в конце шага процесса не зависят от номера шага i .

На стадии 2 мы имеем дело с неоднородной марковской цепью, так как числа БО 1 и 2 типов зависят от шага.

Как следствие, от номера шага зависят и одношаговые вероятности перехода. Кроме того, новой задачей может быть вытеснен освоенный или не освоенный БО 1 типа, а интенсивность потока БО 2 типа может быть различной. Создается впечатление, что это существенно усложняет дело. Однако, по принятым допущениям, БО на выполнение из общего потока N предъявляются обучаемому равновероятно, а характеристики процесса выполнения БО зависят только от его типа. Общий поток БО оказывается смесью двух потоков БО: 1 и 2 типа, отличающихся только их числами и параметрами процесса выполнения. Поэтому математическое ожидание числа освоенных БО обучаемым для стадии 2 можно представить как

$$\bar{x}_i = f_1(i) - \frac{r}{N} [f_1(i) - f_2(i)], \quad i \geq k, \quad (5)$$

где r – число новых задач, поступивших к шагу i , равное $(i-k) \cdot v$, где v – скорость поступления БО нового типа (единиц за шаг обучения)

$$f_1(i) = \theta_1 - (\theta_1 - \bar{x}_{1k}) a_1^{i-k}, \quad 1 = 1; 2;$$

k – начальный шаг этой стадии;

\bar{x}_{1k} – уровень освоенности БО типа 1 при $i = k$.

Проанализируем выражение (5):

- очевидно, что в случае одинаковых характеристик выполнения БО 1 и 2 типа формула (5) должна обратиться в (2). Действительно, в этом случае $f_1(i) = f_2(i)$, поэтому

$$\bar{x}_i = f_1(i) = \theta_1 - (\theta_1 - \bar{x}_{1k}) a_1^{i-k}, \quad (6)$$

где \bar{x}_{1k} определяется через (2) при $i = k$;

подставив (3) при $i = k$ в (6), получаем формулу (3), так как степень при a_1 равна

$$k-1+i-k = i-1;$$

- такой же результат имеет место при $r = 0$, когда БО нового типа не поступают, как и должно быть;

- при $i = k$ значение \bar{x}_i должно совпадать со

средним уровнем освоенности задач 1 типа; на этом шаге $a_1^0 = a_2^0 = 1$, $r = 0$ и из (5) следует $\bar{x}_i = \bar{x}_{1k}$;

- на некотором шаге s процесса обучения $r = N$ (все БО 1 типа вытеснены БО 2 типа). Тогда $\frac{r}{N} = 1$ и

$$\bar{x}_i = f_2(i) = \theta_2 - (\theta_2 - \bar{x}_{2s}) a_2^{i-s}, \quad s \geq k,$$

что совпадает с (4) при новой переменной $j = i - s + 1$. При $i \geq s$ идет стадия 3 с начального уровня освоенности новых задач $\bar{x}_2 = \bar{x}_{2s}$;

- если все новые БО поступают внезапно, то $i = s = k$, и на этом шаге уровень освоенности БО, в соответствии с (5), падает с \bar{x}_{1k} до \bar{x}_{2k} (стадия 2 отсутствует).

Как видим, предложенная модель отображает процесс обучения оператора в соответствии с физическим смыслом.

Результаты конкретного расчета по разработанным моделям представлены на рис. 2 как освоение БО 1 типа (стадия 1), постепенное поступление потока БО 2 типа с их освоением (стадия 2) при соответствующем снижении числа БО 1 типа и их полное вытеснение при росте освоенности БО 2 типа (3 стадия).

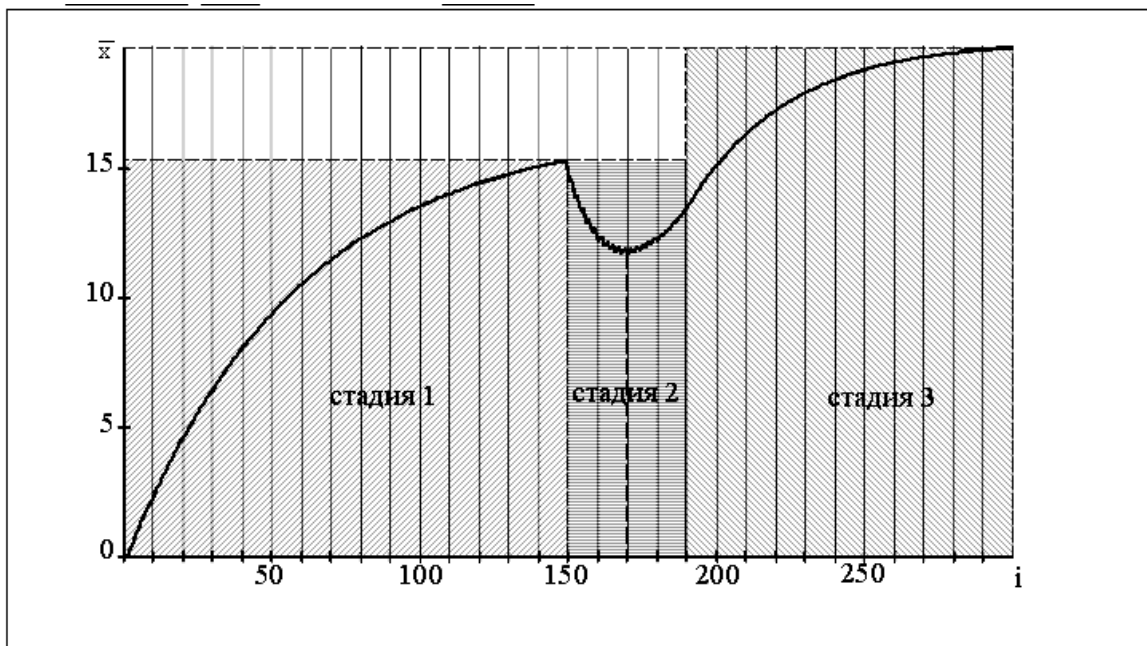


Рис. 2. График динамики обучения в числе освоенных БО

В качестве исходных данных при этом были приняты:

- вероятности правильного выполнения БО приняты равными – для неосвоенного 1 типа $P_{01} = 0.01$ и 2 типа $P_{02} = 0.05$, а для освоенного $P_{11} = 0.75$ и $P_{12} = 0.95$;

- условные вероятности принятия правильного решения при контроле выполнения блоков операций 1 типа $K_1^{11} = 0.85$ и $K_1^{00} = 0.7$, а при контроле блоков операций 2 типа $K_2^{11} = 0.99$ и $K_2^{00} = 0.95$;

- вероятности сохранения правильной концеп-

туальной модели деятельности выполнения блоков операций по результатам контроля приняты для блоков операций 1 типа $p_{11} = 0.7$, для блоков операций 2 типа $p_{12} = 0.9$, а вероятности исправления неправильной равными соответственно $p_{01} = 0.4$ и $p_{02} = 0.6$;

– общее число осваиваемых блоков $N = 20$, а исходные уровни освоенности блоков операций 1 и 2 типа $\bar{x}_1 = \bar{x}_2 = 0$, т.е. моделировалось «обучение с нуля»;

– начало поступления блоков операций 2 типа на 150 шаге обучения ($k = 150$), скорость поступления блоков операций $v = 0.5$ за шаг обучения на стадии 2, соответственно конец стадии 2 на 190 шаге ($s = 190$).

Согласно исходным данным освоение потока блоков операций 2 типа на стадии 3 будет более продуктивным, чем освоение блоков операций 1 типа на стадии 1, что и видно на рис. 2 – кривая стадии 3 идет вверх круче и до большего уровня, чем кривая стадии 1.

На 170 шаге обучения виден перегиб кривой, в этой точке начинается рост числа освоенных блоков операций (суммы вновь поступивших блоков операций 2 типа и еще не вытесненных БО 1 типа) в результате освоения к этому шагу части поступивших блоков операций 2 типа.

Вывод

Таким образом, разработанными аналитическими зависимостями осуществляется моделирование динамики освоения типовых блоков операций при трансформационном обучении оператора человеко-машинной системы.

Направлением дальнейших исследований является проведение эксперимента по обучению операторов человеко-машинной системы с использованием разработанной модели.

Список литературы

1. Шадриков В.Д. Проблемы системогенеза профессиональной деятельности / В.Д. Шадриков. – М., 1982. – 185 с.
2. Решетова З.А. Психологические основы профессионального обучения / З.А. Решетова. – М., 1985. – 207 с.
3. Дружилов С.А. Инженерная психология профессионализма / С.А. Дружилов, Г.В. Суходольский // Вестник Санкт-Петербургского университета. – СПб., 2002. – Серия 6, Выпуск 3 (№ 22). – С. 98-105.
4. Галактионов А.И. Исследование и практическое использование кривых обучения операторов / А.И. Галактионов, В.Н. Ярушкин // Психологические факторы операторской деятельности. – М., 1988. – С. 25-36.
5. Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта: эволюция, психология, информатика / В.Ф. Венда. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
6. Информационно-управляющие ЧМС / [А.Н. Адаменко, А.Т. Ашерев, И.Л. Бердников и др.]; под ред. А.И. Губинского. – М.: Машиностроение, 1993. – 527 с.
7. Чабаненко П.П. Методология и техника разработки структурных моделей обучения операторов человеко-машинных систем / П.П. Чабаненко // 36. научных праць №7. – Х.: УПА, 2004. – С. 73-85.
8. Чабаненко П.П. Математические модели обучения / П.П. Чабаненко, С.В. Приступа, А.Г. Нестеров. – Севастополь: Севастопольский ВМИ им. П.С. Нахимова, 2001. – 70 с.

Поступила в редколлегию 21.12.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.Б. Кучер, Академия военно-морских сил имени П.С.Нахимова, Севастополь.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСФОРМАЦІЙНОГО НАВЧАННЯ ОПЕРАТОРА ЛЮДИНО-МАШИНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ СТРУКТУРНИХ МОДЕЛЕЙ НАВЧАННЯ

П.П. Чабаненко, П.М. Берлад

Стаття містить рішення задачі математичного моделювання трансформаційного навчання оператора ЛМС. Математична модель трансформаційного навчання оператора ЛМС розроблена на основі структурних моделей навчання. Працездатність моделі показано в аналітиці та підкріплено розрахунками.

Ключові слова: навчання оператора ЛМС, структурні моделі навчання, математична модель трансформаційного навчання оператора.

MATHEMATICAL MODELING OF THE MAN-MACHINE OPERATOR TRANSFORM TEACHING ON THE STRUCTURAL MODELS TEACHING BASE

P.P. Chabanenko, P.N. Berlad

The article contains the solution of the sum of the man-machine system operator transform teaching mathematical modeling. Mathematical modeling of the man-machine operator transform teaching to be exploited on the structural models teaching base. Model work capacity is presented in the analytics and proved by the calculation.

Keywords: man-machine system teaching, structural models of teaching, operator transform teaching mathematical model.