

**Г. Н. Лебедев**, д-р техн. наук, проф.,  
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
**С. В. Канушкин**, канд. техн. наук, доц.,  
Серпуховский филиал Военной академии ракетных войск стратегического назначения,  
**Т. И. Кузнецова**, д-р пед. наук, проф., englishmail@mail.ru,  
**М. Г. Царегородцева**, ст. преподаватель, marina77868@yandex.ru,  
Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

### Автоматизированная компьютерная система индивидуального обучения при освоении простых и сложных навыков

*Ставится задача автоматизации индивидуального компьютерного обучения простым и сложным навыкам в различных предметных областях.*

*Сформулировано решение задачи оптимизации обучения группе навыков за заданное время по критерию максимума суммы аддитивной и мультипликативных сверток получаемых оценок освоения каждого навыка.*

*Получен главный вывод о важности увеличения частоты чередования освоения навыков к концу обучения. Приведены примеры эффективности предложенного подхода в различных предметных областях.*

**Ключевые слова:** простые и сложные навыки, автоматизация обучения, компьютерный класс, оптимизация времени обучения навыкам, динамическое программирование, частота чередования

#### Введение

Повышение эффективности компьютерных систем обучения является актуальной задачей. Как показывают предварительные оценки, оптимальное распределение времени освоения между простыми и сложными навыками, а также выбор последовательности их освоения и частоты их чередования позволяют снизить общее время и стоимость обучения на 10...20 %. При этом особенно важно учесть выявленные индивидуальные особенности каждого обучаемого лица как по скорости освоения, так и по степени забывания пройденного материала, чтобы дать рекомендации по времени, числу повторений и частоте чередования осваиваемых навыков.

Имеющиеся в настоящее время результаты в области компьютерного обучения относятся к следующим направлениям. В работах [1, 2] предложено различать простые и сложные навыки и считать для них неодинаковым время выполнения заданий "при регулируемом регламенте действий оператора". При этом вопрос

повышения качества обучения за счет оптимизации планов подготовки не рассматривается.

В работах [3, 4] впервые сформулирована задача оптимального планирования работы компьютерного класса при параллельности освоения простых и сложных навыков на основе динамического программирования Беллмана [5], но переходным процессам забывания и повторения с точки зрения восстановления качества подготовки внимание не уделяется.

В работах [6—8] решается задача формирования тестов или перечня заданий для освоения навыков различной трудности и даются априорная оценка сложности тестов и критерии точности тестирования в зависимости от размера выборки и числа заданий в тесте. Особое место занимают задачи формализации получения знаний не в технической области, а гуманитарной и педагогической деятельности [9—11]. В них главное место занимают критерии оценки качества приобретенных знаний.

В зарубежной литературе исследуется ряд перечисленных направлений [12—16], но в них

не учитывается в полной мере нелинейная динамика освоения и забывания навыков при их чередовании в процессе автоматизированного обучения.

Таким образом, полная динамическая модель освоения, забывания и повторения навыков различной сложности нуждается в развитии.

Целью данной работы является стремление раскрыть механизм оптимизации динамических процессов в расчете на индивидуальное обучение в компьютерном классе при следующей постановке задачи.

### Постановка задачи

1. Считается, что за заданный период  $T$  обучения необходимо обеспечить освоение заданного числа  $n$  простых и  $m$  сложных навыков. Под простыми навыками понимается выполнение заданий, не требующих значительного времени, при этом вначале скорость освоения максимальна. Под сложными навыками понимается выполнение заданий, уровень освоения которых зависит от освоения предшествующих навыков, на которых базируется рассматриваемый навык.

2. Заданы две группы обучаемых лиц: сильная ( $j = 1$ ) и слабая ( $j = 2$ ). Для простых навыков приемлемой динамической моделью их освоения является, как показано в работе [2], экспоненциальная зависимость вида (рис. 1)

$$x_i(t_j) = 1 - e^{-a_j t_j}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, 2, \quad (1)$$

где  $j = 1$  для сильной группы обучаемых;  $j = 2$  для слабой группы обучаемых, когда  $a_2 < a_1$ , что соответствует простому дифференциальному уравнению

$$\dot{x}_i = a_j(1 - x_i), \quad (2)$$

где  $x_i(t)$  — нормированная оценка качества обучения простому  $i$ -му навыку, когда максимальный уровень освоения принят за единицу;  $t_j$  — отведенное время на освоение  $i$ -го простого навыка  $j$ -м обучаемым лицом или номером обучаемой группы;  $a_j$  — персональный показатель скорости освоения простого навыка, подлежащий идентификации.

Из рис. 1 видно, что скорость освоения вначале велика (чем меньше  $1/a_j$ , тем она больше),

а потом по мере обучения она падает, и дальнейшая трата времени становится неэффективной.

Для сложного навыка характерны низкая скорость освоения вначале, максимальная скорость в середине и убывание скорости при подходе к максимальному уровню, как показано на рис. 2.

Логистический характер для сложного навыка может быть представлен формулой

$$y_k(\tau_j) \approx (1 - e^{-b_j \tau_j})^2; \quad k = 1, \dots, m; \quad j = 1, 2, \quad (3)$$

где  $y_k$  — нормированная оценка качества обучения сложному  $k$ -му навыку;  $\tau_j$  — отведенное время на обучение;  $b_j$  — персональный показатель скорости освоения сложного навыка, подлежащий идентификации при тестировании обучающегося.

Динамику освоения сложного навыка можно заменить системой дифференциальных уравнений, добавив промежуточную переменную  $Z$ :

$$\begin{cases} \dot{y}_k = Z_k; \\ \dot{Z}_k = 2b_j^2(1 - y_k) - 3b_j Z_k. \end{cases} \quad (4)$$

3. Динамика забывания каждого простого навыка описывается с помощью экспоненциальной модели снижения качества обучения,

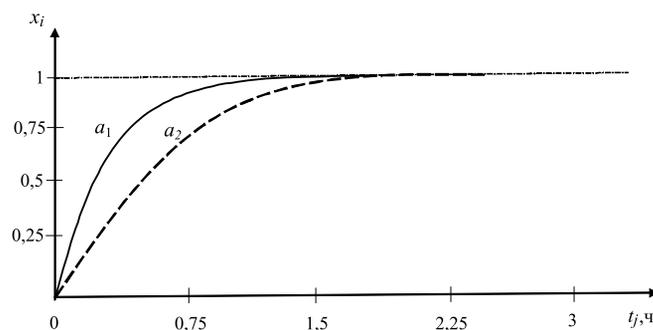


Рис. 1. График функции экспоненциальной зависимости качества обучения при  $a_1 > a_2$

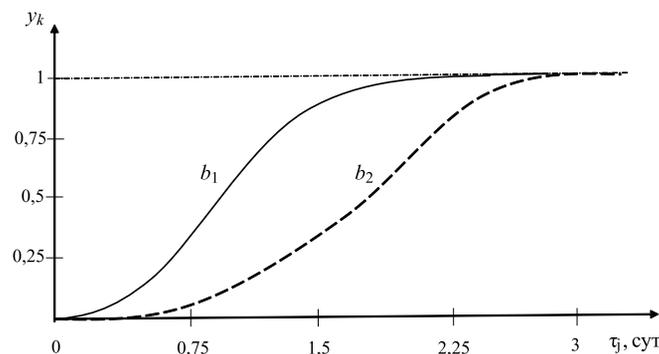


Рис. 2. График функции логистической зависимости качества обучения при  $b_1 > b_2$

которой соответствует следующее простое дифференциальное уравнение:

$$\dot{x}_i = -\theta_j x_i, \quad (5)$$

где  $\theta_j$  — персональный показатель скорости забывания простого навыка.

4. В итоге динамика освоения и забывания каждого простого навыка описывается с помощью дифференциальных уравнений роста и снижения качества обучения:

$$\dot{x}_i = \begin{cases} a_j(1 - x_i), & \text{при освоении простого навыка;} \\ -\theta_j x_i, & \text{при забывании простого навыка.} \end{cases} \quad (6)$$

5. Динамику забывания сложных навыков по аналогии с моделью (5) удастся описать дифференциальным уравнением вида

$$\dot{y}_k = -v_j y_k, \quad (7)$$

где  $v_j$  — персональный показатель скорости забывания сложного навыка.

Поэтому опишем динамику освоения и забывания каждого сложного навыка следующим образом:

$$\dot{z}_k = \begin{cases} Z_k; \dot{Z}_k = 2b_j^2(1 - y_k) - 3b_j Z_k - & \text{при освоении сложного навыка;} \\ -v_j y_k - & \text{при забывании сложного навыка.} \end{cases} \quad (8)$$

6. Процесс автоматизации получения оценки результатов освоения навыков при заданном регламенте проверок в данной работе не рассматривается.

7. Критерием  $J$  обучения в первом приближении является достижение максимума общего уровня освоения всех простых и сложных навыков в виде линейной свертки при заданном общем времени обучения  $T$ :

$$J_1 = \max \sum_{j=1}^2 \left[ C_1 \sum_{i=1}^n x_i(t_j) + C_2 \sum_{k=1}^m y_k(\tau_j) \right], \quad (9)$$

где соблюдается ограничение по общему заданному времени обучения  $T$ :

$$\sum_{j=1}^2 \left( \sum_{i=1}^n t_{ij} + \sum_{k=1}^m \tau_{kj} \right) \leq T. \quad (10)$$

Однако при обучении не менее важным условием является недопустимость слишком низкой оценки хотя бы по одному навыку, поэтому критерий неадекватен линейной свертке, и предлагается его выбрать равным сумме линейной и мультипликативной свертки:

$$J_2 = J_1 + C_3 \prod_{i=1}^n x_i(t_j) \prod_{k=1}^m y_k(\tau_j), \quad (11)$$

где  $C_1, C_2, C_3$  — заданные коэффициенты значимости обучения, но и в этом случае ограничение (10) должно выполняться.

В данной работе при выполнении приближенных расчетов используется более простой параметрический критерий (9).

### Решение задачи обучения простым навыкам с помощью динамического программирования и метода параметрической оптимизации

Рассмотрим вначале задачу обучения двум простым навыкам. Поскольку динамика качества освоения навыков имеет дифференциальную форму, воспользуемся динамическим программированием для решения поставленной задачи.

Можно получить условие оптимальности в виде уравнения Беллмана в частных производных, решая задачу достижения заданного уровня освоения навыков за минимальное время:

$$-\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \min_{j=1,2} \left\{ 1 + \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_1} \dot{x}_1(j) + \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_2} \dot{x}_2(j) \right\} = \min F_j(x_1, x_2), \quad (12)$$

где  $\varepsilon$  — функция Беллмана, которую можно аппроксимировать степенным полиномом второго порядка;  $F_j$  — функции риска, равенство которых определяет условие переключения с одного навыка на другой, а терминальный критерий оптимальности имеет вид

$$J_2 = C_1[x_1(\tau) + x_2(\tau)] + C_3[x_1(\tau)x_2(\tau)]. \quad (13)$$

Функцию Беллмана можно аппроксимировать степенным полиномом второго порядка:

$$\varepsilon \cong \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + 0,5\gamma_1 x_1^2 + 0,5\gamma_2 x_2^2 + \psi x_1 x_2. \quad (14)$$

Тогда функции  $F$  текущего риска равны:

$$\begin{aligned} F_1(x_1, x_2) &= (\beta_1 + \gamma_1 x_1 + \psi x_2) a_1 (1 - x_1) - \\ &- (\beta_2 + \gamma_2 x_2 + \psi x_1) \theta_2 x_2; \\ F_2(x_1, x_2) &= (\beta_2 + \gamma_2 x_2 + \psi x_1) a_2 (1 - x_2) - \\ &- (\beta_1 + \gamma_1 x_1 + \psi x_2) \theta_1 x_1. \end{aligned} \quad (15)$$

Условие оптимальности (12) используется для того, чтобы найти координаты минимального риска в различных ситуациях, используя при этом метод рабочей точки [12]. Согласно этому методу достаточно определить эти координаты как функции от искомых коэффициентов и приравнять эти координаты друг другу, как показано в работе [13].

Приведем координаты риска  $C_0, C_1^+, C_2^+, C_1^-, C_2^-, C_{12}^{+-}$  в окрестности рабочей точки  $(x_{p1}, x_{p2})$ :

$$\begin{aligned} C_0(a_1 + a_2) &= a_1 F_2(x_{p1}, x_{p2}) + a_2 F_1(x_{p1}, x_{p2}); \\ C_1^+ &= F_2(x_{p1} + \Delta x, x_{p2}); \\ C_2^+ &= F_1(x_{p1}, x_{p2} + \Delta x); \\ C_1^- &= F_1(x_{p1} - \Delta x, x_{p2}); \\ C_2^- &= F_1(x_{p1}, x_{p2} - \Delta x); \\ C_{12}^{+-} &= F_2(x_{p1} + \Delta x, x_{p2} - \Delta x). \end{aligned} \quad (16)$$

Найденные значения координат риска в виде аналитических функций от коэффициентов  $\beta_i, \gamma_i, \psi$  позволяют с помощью уравнения Беллмана (12), из которого легко получить систему пяти дифференциальных уравнений относительно этих коэффициентов, построить линию переключения от одного навыка на другой при их освоении:

$$\Delta F = F_1(x_1, x_2) - F_2(x_1, x_2). \quad (17)$$

Ниже на рис. 3 приведен результат компьютерного моделирования процесса обучения

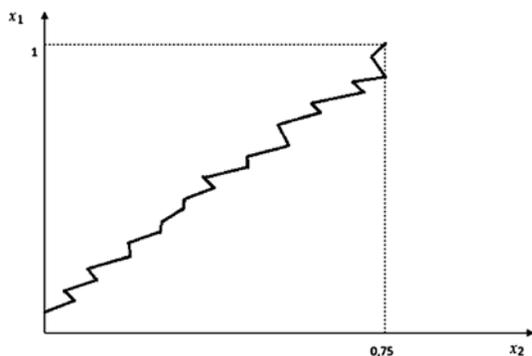


Рис. 3. График моделирования чередования двух простых навыков

двум одинаково главным простым навыкам и сама линия переключения.

Проведенные расчеты с учетом динамики чередования навыков можно упростить, если считать параметры  $a_j$  и  $\theta_j$  одинаковыми, а процесс распределения общего времени между навыками рассматривать как задачу параметрической оптимизации одного занятия на одном шаге обучения. Тогда очевидно, что в случае параллельного освоения только простых навыков время на освоение каждого из них равно

$$t_1 = \frac{\Delta t}{n}; \quad \tau_1 = \frac{(n-1)\Delta t}{n}; \quad t_1 + \tau_1 = \Delta t, \quad (18)$$

где  $\Delta t = T/\lambda$  — время одного занятия при заданной частоте чередования  $\lambda$ .

Рассмотрим теперь более сложные случаи совместного освоения сложного и простых навыков, дополнительно учитывая в терминальном критерии (9) только аддитивную составляющую.

#### Случай освоения одного простого и одного сложного навыков ( $m = 1, n = 1$ )

В этом случае можно получить более сложное условие оптимальности Беллмана с учетом двух дифференциальных уравнений для описания процесса освоения сложного навыка и промоделировать его на компьютере. Вместе с тем, если использовать в терминальном критерии (9) только первую аддитивную составляющую, то в рамках параметрической оптимизации можно записать следующее условие на одном шаге длительностью  $\Delta t$ :

$$\begin{aligned} J_1(\Delta t) + J_2(\Delta t) &= (1 - e^{-a_1 t}) e^{-\theta_1(\Delta t - t_1)} + \\ &+ (1 - e^{-b_1(\Delta t - \tau_1)}) e^{-v_1 \tau_1} \rightarrow \max. \end{aligned} \quad (19)$$

Аппроксимируя экспоненциальные функции степенными полиномами второго порядка, получим в первом приближении следующий ответ:

$$\begin{aligned} \frac{2t_1}{\Delta t} &= \frac{b_1^2(1 + 0,5v_1\Delta t) -}{b_1^2(1 + 0,5v_1\Delta t) - (a_1\theta_1 + b_1v_1) +} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{-(a_1\theta_1 + b_1v_1)}{+ 0,5(a_1^2 - b_1^2) + 0,5\Delta t(a_1^2\theta_1 - \beta_1^2v_1)}, \end{aligned} \quad (20)$$

где  $\Delta t$  — общее время освоения навыков;  $t_1$  — время, отводимое на освоение простого навыка.

Из формулы (20) видно, что поскольку  $a_1^2 - b_1^2 + 0,5(a_1^2\theta_1 - \beta_1^2v_1) > 0$ , то время  $\tau_1 = \Delta t - t_1$

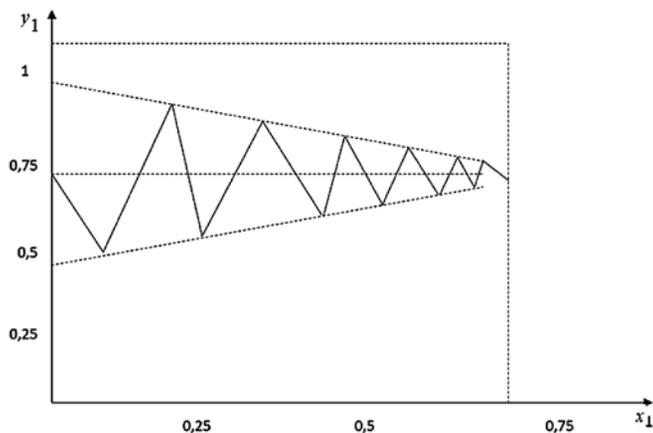


Рис. 4. График моделирования чередования простого  $x_1$  и сложного  $y_1$  навыков с постепенно увеличивающейся частотой

освоения сложного навыка всегда больше времени  $t_1$  освоения простого навыка.

Следует подчеркнуть, что помимо приближенного расчета (20) результаты компьютерного моделирования в указанном случае показали, что частота чередования при освоении простого и сложного навыков постепенно при обучении возрастает, как показано на рис. 4.

При этом важно, что предельно максимальный уровень  $y_1 = 0,6$  освоения сложного навыка ниже, чем уровень  $x_1 = 0,8$  простого навыка.

### Случай освоения $n$ простых навыков и одного сложного навыка ( $m = 1$ )

В этом случае результат параметрической оптимизации имеет вид

$$J_1(\Delta t) + J_2(\Delta t) = (1 - e^{-b_1\tau_1})e^{-v_1(\Delta t - \tau_1)} + n \left( 1 - e^{-\frac{a_1(\Delta t - \tau_1)}{n}} \right) e^{-\frac{\Delta t(n-1) - \tau_1}{n}\theta_1} \rightarrow \max,$$

а итогом выполнения условия экстремума является следующая формула:

$$\begin{aligned} & \frac{2\tau_1}{\Delta t} = \\ & \frac{\frac{a_1^2}{n} \left[ 1 - \frac{(n-1,5)}{n} \theta_1 \Delta t \right] -}{\frac{a_1^2}{n} \left[ 1 - \frac{(n-1,5)}{n} \theta_1 \Delta t \right] - \left[ \frac{a_1 \theta_1 (2-n)}{n} + b_1 v_1 \right] -} \rightarrow (21) \\ & \frac{- \left[ \frac{a_1 \theta_1 (2-n)}{n} + b_1 v_1 \right]}{- \frac{a_1 \theta_1 (n-1)}{n} + \frac{1}{2} \left( b_1^2 - \frac{a_1^2}{n} \right) + \frac{\Delta t}{2} \left( b_1^2 v_1 - \frac{a_1 \theta_1}{n} \right)}. \end{aligned}$$

Сделав некоторые упрощения, можно получить следующие оценки распределения общего времени  $\Delta t$  одного занятия на время  $\tau_1$  освоения сложного навыка, время  $t_1$  освоения каждого из  $n$  простых навыков и времени  $t_0$  повторения части простых навыков:

$$\begin{aligned} \frac{t_1}{\Delta t} &= \frac{a_1^2}{b_1^2 + na_1^2}; \quad \frac{\tau_1}{\Delta t} = \frac{b_1^2}{b_1^2 + na_1^2}; \\ \frac{t_0}{\Delta t} &= \frac{(1-d)e^{b_1 d \Delta t}}{e^{b_1 d \Delta t} + 10n}, \end{aligned} \quad (22)$$

где  $d = \frac{a_1^2}{a_1^2 + nb_1^2}$ . Например, пусть  $n = 4$ ,  $d = 0,4$ ;  $b_1 \Delta t = 5$ .

Тогда получим  $t_1 = 0,14\Delta t$ ;  $\tau_1 = 0,4\Delta t$ ;  $t_0 = 0,04\Delta t$ .

Подводя итоги освоения увеличивающегося числа осваиваемых навыков, можно прийти к выводу, что **все более важным параметром обучения является оптимальная частота  $\lambda$  их чередования**, чтобы более длительные процессы забывания минимизировать за счет повторения навыков. Увеличение этой частоты есть следствие не линейной, а экспоненциальной и логистической зависимостей роста и падения уровней освоения навыков.

### Многорежимное управление процессом обучения в компьютерном классе

Сделав предварительные выводы об оптимальном распределении времени при параллельном освоении простых и сложных навыков и о растущей частоте их чередования, можно представить следующие наиболее характерные режимы.

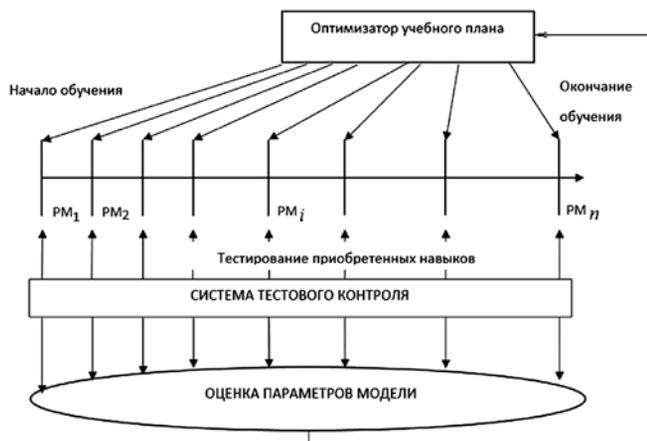
*Режим 1* — в одном занятии за время чередуются определенные два простых навыка, в другой раз — другие два простых навыка и т. д.

*Режим 2* — в одном занятии чередуются несколько простых навыков, постепенно их число увеличивается до значения  $n$ .

*Режим 3* — в одном занятии чередуются один простой и один сложный навыки.

*Режим 4* — в одном занятии чередуются сложный и несколько простых навыков, вплоть до их числа, равного  $n$ .

Последовательный переход от режима 1 к последующим режимам соответствует постепенному увеличению частоты чередования навыков, а это, в свою очередь, приводит к тому, что при кратковременном повышении качества ос-



**Рис. 5. Блок-схема системы компьютерного обучения:**  
 $PM_i, i = 1, \dots, N$ , — рабочие места в компьютерном классе

ваиваемого навыка другие навыки "не успевают" потерять свои кондиции, и в конце концов процесс достижения итоговой максимальной подготовленности обучаемого лица приходит в установившееся состояние. Естественно, что эти состояния для сильной и слабой группы различны.

Схема автоматизированной системы компьютерного обучения представлена на рис. 5.

Задача оптимального управления решается следующим образом:

- с помощью первоначального задания для каждого обучаемого лица оцениваются скорости его освоения и забывания простых и сложных навыков;
- с использованием полученных оценок решается задача распределения времени параллельного обучения на освоение каждого из навыков;
- при получении итоговых оценок принимается решение о переходе на новый режим с увеличенной частотой чередования навыков в одном занятии;
- процессы получения оценок качества освоения, распределения времени между навыками и назначения частоты чередования осуществляются автоматически для каждого обучаемого лица или каждой группы с учетом их индивидуальных особенностей.

### **Примеры использования предложенного подхода в различных прикладных задачах обучения**

В данном разделе рассмотрим процессы автоматизированного освоения навыков в трех

различных, внешне непохожих предметных областях.

В первой задаче — задаче автоматизированного обучения операторов управления сложными техническими системами (СТС) различного назначения можно выделить следующие основные функции: управление техническим компонентом, контроль технического состояния, техническое обслуживание, поиск и устранение неисправностей, проверка функционирования.

Под простыми навыками можно понимать выполнение заданий, не требующих значительного времени, определяющих деятельность специалиста по взаимодействию с техническими системами, которые отражают:

- степень овладения физико-теоретическими основами процессов функционирования систем (как минимум — определить нормальность или аномальность хода этих процессов);
- полноту знаний и умений пользоваться инструкциями и наставлениями, боевой документацией, которые регламентируют деятельность специалиста в процессе технического обслуживания систем;
- умение правильно и своевременно выполнять набор требуемых режимов и эксплуатационных процедур в процессе взаимодействия с техникой;
- знание технических и тактических возможностей систем и умение эти возможности реализовать в конкретных условиях эксплуатации техники.

Под сложными навыками понимается выполнение заданий, уровень освоения которых зависит от освоения предшествующих простых навыков, на которых базируется рассматриваемый навык.

Динамика освоения сложного навыка определяется способностью оператора к сохранению заданной эффективности работы при усложнении окружающей обстановки, с учетом следующих факторов:

- долговременная выносливость — сохранение человеком работоспособности на заданном уровне в течение определенного времени;
- устойчивость к воздействию факторов среды (температуры, влажности, давления, шума, ускорения), связанная с состоянием нервной системы оператора;
- работоспособность в экстремальных условиях, или способность принимать правильные решения при дефиците времени, в аварийных ситуациях, в условиях шумов и пр.;

- переключаемость — время "вхождения" в новую деятельность, которое определяется индивидуальными особенностями каждого человека.

Критерием успешности автоматизированного обучения является достижение максимума общего уровня освоения всех простых и сложных навыков. При оценке уровня профессиональной подготовки операторов используются следующие частные критерии:

- число правильных ответов из общего числа вопросов, заданных в процессе текущего, этапного и итогового контроля;
- коэффициент значимости знаний и практических навыков по отдельным разделам;
- точность выполнения операций (степень соответствия работы оператора при выполнении практического задания процедурам, изложенным в инструкции);
- продолжительность выполнения операций (в тех случаях, когда продолжительность выполнения отдельной операции или работы в целом имеет регламентированное значение).

Автоматизация обучения операторов на тренажерах при самоподготовке, при документировании процесса тренировок и возможность вернуться в нужную предыдущую точку в целях повторения навыков резко повышает качество подготовки операторов.

*Вторую задачу — задачу автоматизации самостоятельного изучения иностранного языка* в компьютерном классе можно представить в виде освоения различных видов речевой деятельности (чтения, аудирования, письменной и разговорной речи) и таких мыслительных процессов, как перевод с иностранного языка на русский и перевод с русского языка на иностранный, а также изучение таких разделов иностранного языка, как грамматика, лексикология, фонетика и др. По результатам освоения и закрепления каждого из этих умений и навыков (например, во время прохождения различных тестов) обучаемое лицо получает свою оценку, и обычным критерием общей оценки является среднее значение отдельных показателей или их общая сумма баллов.

Однако в ряде случаев эта оценка не учитывает как различную важность отдельных оценок, так и их возможную несбалансированность. Например, одну и ту же сумму баллов пяти оценок имеют показатели двух обучаемых лиц — 3, 3, 3, 3, 4 и 2, 2, 3, 4, 5, в то же время как первое обучаемое лицо явно предпо-

читительнее второго, у которого произведение показателей явно меньше, чем у первого.

Представление общей оценки в виде взвешенной суммы аддитивной и мультипликативной сверток используется в компьютерном классе без участия преподавателя при оптимальном распределении времени освоения и закрепления каждого из вышеназванных умений и навыков обучаемым лицом с учетом его индивидуальных способностей.

В свою очередь, задача оптимального управления обучением студентов решается при следующих допущениях.

1. На первом этапе каждый студент на экране своего компьютера получает первое задание по одному из видов речевой деятельности или одному из разделов иностранного языка, и через некоторое время по его ответам автоматически оценивается первоначальная скорость его освоения. Количество времени на выполнение студентами задания определяет качественную оценку скорости освоения каждого задания — обычно 3, 4 или 5 баллов.

2. Процесс изучения переключается на другой вид речевой деятельности или раздел иностранного языка, затем на третий и т. д., после чего полученные оценки скорости освоения позволяют разбить осваиваемые каждым студентом навыки на простые и сложные.

3. На втором этапе решается задача распределения оставшегося общего времени на повышение качества изучения и закрепления определенного набора умений и навыков при освоении иностранного языка. При этом единым критерием качества является сумма аддитивной и мультипликативной сверток оценок, полученных на первом этапе.

4. При получении итоговых оценок, вычисленных на компьютере автоматическим путем, учитывается неодинаковая важность изучаемых разделов иностранного языка и видов речевой деятельности.

5. Процесс выдачи подготовленных тестовых заданий студентам, оценка качества их освоения и индивидуальное распределение времени освоения простых и сложных навыков осуществляется без участия преподавателя в зависимости от индивидуальных особенностей студентов.

В настоящее время очередной задачей является формирование тестов различного уровня сложности для всех видов речевой деятельности и необходимых разделов иностранного языка и

определение частоты их чередования в начале, середине и в конце обучения студентов.

*Третьей предметной областью является процесс планирования индивидуальных и общекомандных тренировок игроков* при подготовке к соревнованиям по спортивным играм. В качестве простых навыков можно назвать различные элементы физической и технической подготовки, в качестве сложных — взаимодействие отдельных звеньев игроков команды в защите и нападении, отработка различных тактических действий команды в целом. При этом также важно учесть индивидуальные особенности каждого игрока, его сильные и слабые стороны, для чего в профессиональной команде уже сейчас с помощью компьютера формируется досье персональных показателей (физических параметров игрока, его игровых показателей, биометрических данных сердечной деятельности после каждого тестового упражнения и др.).

При этом в процессе подготовки к соревнованиям соблюдается главное правило — в начале тренировочного процесса частота чередования различных навыков при их освоении минимальна, затем она постепенно увеличивается.

Вершиной наибольшей эффективности этого подхода является знаменитый "поточный метод тренировок в хоккее", разработанный и приведший к выдающимся результатам величайшим в мире тренером по игровым видам спорта, заслуженным тренером СССР Анатолием Владимировичем Тарасовым.

Идея этого метода состоит в том, что по мере приближения к соревнованиям частота чередования навыков и интенсивность нагрузки достигает своего мыслимого предела — повторение всех навыков и умений происходит в непрерывном потоке без отдыха не только на каждой тренировке, но и практически в каждом упражнении этой тренировки.

Можно привести пример одной такой тренировки:

- в начале упражнения нападающая пара хоккеистов, владея шайбой, атакует ворота противника, защищаемые вратарем и противником;
- после совершения броска в случае успеха игроки нападения отправляются в один из углов площадки за воротами и выполняют физическое упражнение с "обычным" отягощением, игроки защиты должны в качестве "наказания" сделать физическое упражнение с увеличенной нагрузкой. В случае неуспеха

нападающие и защитники при выполнении физической нагрузки меняются ролями;

- сразу же после выполнения физического упражнения, не отдыхая, нападающие становятся в защиту против следующей пары, и затем выполняют нужную физическую нагрузку второй раз, после чего возвращаются к своим воротам в очередь — на "поток" для повторения этого упражнения 10...15 раз;
- в конце занятия в журнале фиксируются показатели сердечной деятельности и все ошибки каждого игрока в защите и нападении.

В итоге контролируемая общая физическая нагрузка и частота чередования навыков становятся в несколько раз выше, чем в игре, и в соответствии с принципом "тяжело в учении — легко в бою" команда сборной СССР по хоккею с шайбой на протяжении нескольких десятилетий была многократным чемпионом мира и олимпийских игр.

## Заключение

1. При параллельном обучении простым и сложным навыкам предложено проводить тестирование обучаемых лиц в целях идентификации скоростей освоения и забывания этих навыков и применять экспоненциальную модель для оценки уровня подготовки обучаемой группы.

2. С помощью динамического программирования решена задача распределения времени обучения между простыми и сложными навыками с учетом индивидуальных особенностей обучаемых лиц.

3. Показано, что для каждого обучаемого лица или группы существует предельный уровень подготовки в зависимости от индивидуальных особенностей обучаемых лиц, по достижении которого дальнейшее обучение нецелесообразно.

4. При освоении сложных навыков наряду с простыми навыками частота переключения должна постепенно возрастать и достигать максимума у сильной группы обучаемых лиц.

5. Приведенные примеры оптимизации компьютерного обучения в различных предметных областях подтвердили универсальность предложенного подхода.

## Список литературы

1. Канушкин С. В., Лебедев Г. Н., Чан Ван Туен, Швыдченко К. И. Подготовка операторов безотказного управле-

ния сложными подвижными объектами при регулируемом регламенте проведения проверок // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 3. С. 67–70.

2. **Лебедев Г. Н., Романов О. В., Алексеев А. Ю.** Проблемы построения компьютерных систем обучения специалистов ракетно-космических комплексов // Авиакосмическое приборостроение. 2003. № 9. С. 25–31.

3. **Лебедев Г. Н.** Интеллектуальные системы управления и их обучение с помощью методов автоматизации. М.: Изд. МАИ, 2002. 124 с.

4. **Лебедев Г. Н., Ву С. Д.** Применение динамического программирования при автоматизированном обучении операторов управления воздушным движением // Труды МАИ, № 44, 2011. // <http://elibrary.ru/item.asp?id=20354343>, ISSN:0044-4448.

5. **Беллман Р.** Динамическое программирование. М.: ИИЛ, 1960. 161 с.

6. **Бессарабов Н. А., Бондаренко А. В., Кондратенко Т. Н.** Задача выбора математической модели тестирования знаний для дихотомических данных // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 2. С. 46–51.

7. **Бессарабов Н. А., Бондаренко А. В., Кондратенко Т. Н.** Автоматизированная система управления процессом тестирования знаний // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 5. С. 45–51.

8. **Шукшунов В. Е., Циблиев В. В., Потоцкий С. И.** Тренажерные комплексы и тренажеры. Технологии разработки и опыт эксплуатации. М.: Машиностроение, 2005. 384 с.

9. **Нейман Ю. М., Хлебников В. А.** Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов. М.: Прометей, 2000. 168 с.

10. **Кузнецова Т. И., Царегородцева М. Г.** Комплексная оценка качества изучения иностранного языка в виде суммы аддитивной и мультипликативной сверток отдельных показателей освоения различных разделов на всех этапах обучения // Сб. трудов XXV Международной научно-технической конференции "Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации", Алушта, 2016. М.: Технология, 2016. С. 208.

11. **Царегородцева М. Г., Кузнецова Т. И.** Постановка задачи оптимального выбора времени при самостоятельном изучении разделов иностранного языка в компьютерном классе с учетом неодинаковой сложности заданий и индивидуальных особенностей обучаемых лиц в студенческой группе // Сб. трудов XXV Международной научно-технической конференции "Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации", Алушта, 2016. М.: Технология, 2016. С. 209.

12. **Baker F. B., Kim S. H.** Item Response Theory: Parameter Estimation Techniques. NY: CRC Press, 2004. 528 p.

13. **Kang T., Cohen A. S.** IRT Model Selection Methods for Dichotomous Items // Applied Psychological Measurement. 2007. V. 31, N. 4. P. 331–358.

14. **Claeskens G., Hjort N. L.** Model Selection and Model Averaging. NY: Cambridge University Press, 2008. 332 p.

15. **Ayala R. J.** The Theory and Practice of Item Response Theory. NY: Guilford Press, 2009. 448 p.

16. **Chalmers R. P.** Mirt: A Multidimensional Item Response Theory Package for the R Environment // Journal of Statistical Software. 2012. Vol. 48, N. 6. P. 1–29.

**G. N. Lebedev**, Dr. of Ph., Professor,

"Moscow aviation institute" (National Research University), 125080, Moscow, Russian Federation,

**S. V. Kanushkin**, Ph. D., Associate Professor,

Serpukhov branch of the HA RSF, Serpukhov, Russian Federation,

**T. I. Kuznetsova**, Dr. of Ph., Professor, The Head of department of foreign languages, englishmail@mail.ru,

**M. G. Tsaregorodtseva**, Senior lecturer of department of foreign languages, marina77868@yandex.ru,

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russian Federation

## **Automated Computer-Based Individual Learning System for Mastering Simple and Complex Skills**

*The task is to automate individual computer training in simple and complex skills in various subject areas. A solution to the problem of optimization of training to a group of skills for a given time is formulated on the criterion of the maximum of the sum of additive and multiplicative convolutions of obtained estimations of the development of every skill. The main conclusion about the importance of increasing the frequency of alternation of mastering skills by the end of the training has been obtained. Examples of the effectiveness of the proposed approach in various subject areas are given. The task was set to automate individual computer training in simple and complex skills in various subject areas. The performance of tasks that do not require significant time is understood by simple skills, when initially the rate of mastering is maximal. Complex skills are meant as the fulfillment of tasks, the level of development of which depends on the development of the previous skills on which the skill in question is based. The dynamics of learning and forgetting skills, in so doing, is described by differential equations. The decision of a problem of optimization of training to a group of skills for a given time is formulated on the criterion of the maximum of the sum of additive and multiplicative convolutions of obtained estimations of development of every skill. With parallel learning of simple and complex skills, it is suggested to conduct testing of trainees in order to identify the rates of mastering and forgetting these skills and apply an exponential model to assess the level of training of the student group. With the help of dynamic programming, the problem of the distribution of learning time between simple and complex skills is solved, taking into account the individual characteristics of the trainees. When mastering complex skills along with simple skills, the switching frequency should gradually increase and reach a maximum for a strong group of trainees. Examples of the effectiveness of the proposed approach in various tasks are given:*

automated training of management operators for complex technical systems for various purposes, automation of independent study by students of a foreign language in a computer class and computer planning of individual and team-wide training of players in preparation for competitions in sports games. The main conclusion about the importance of increasing the frequency of alternation of mastering skills by the end of the training has been obtained.

**Keywords:** simple and complex skills, automation of training, computer class, optimization of training time, dynamic programming, frequency of alternation

DOI: 10.17587/it.24.731-740

## References

1. **Kanushkin S. V., Lebedev G. N., Chan Van Tuen, Shvydchenko K. I.** Podgotovka operatorov bezotkaznogo upravlenija slozhnymi podvizhnymi obektami pri reguliruemom reglamente provedenija proverok (Training of operators of trouble-free control of complex mobile objects under the regulated procedure for conducting inspections), *Mehatronika, Avtomatizacija, Upravlenie*, 2012, no. 3 (in Russian).
2. **Lebedev G. N., Romanov O. V., Alekseev A. Ju.** Problemy postroenija komp'juternyh system obucheniya specialistov raketno-kosmicheskikh kompleksov (Problems of building computer systems for training specialists in rocket and space complexes), *Aviakosmicheskoe Priborostroenie*, 2003, no. 9, pp. 25–31 (in Russian).
3. **Lebedev G. N.** *Intellektual'nye sistemy upravlenija i ih obuchenie s pomoshh'ju metodov avtomatizacii* (Intelligent control systems and their training using automation methods), Moscow, Publishing house of MAI, 2002, 124 p. (in Russian).
4. **Lebedev G. N., Vu Suan Dyk** Primenenie dinamicheskogo programirovanija pri avtomatizirovannom obuchenii operatorov upravlenija vozdušnym dvizheniem (The use of dynamic programming in the automated training of air traffic control operators), *Proceedings MAI*, no. 44, 2011. <http://elibrary.ru/item.asp?id=20354343> (in Russian).
5. **Bellman R.** *Dinamicheskoe programirovanie* (Dynamic programming), Moscow, IIL, 1960, 161 p. (in Russian).
6. **Bessarabov N. A., Bondarenko A. V., Kondratenko T. N.** Zadacha vybora matematicheskoj modeli testirovanija znanij dlja dihotomicheskikh dannyh (The problem of choosing a mathematical model of knowledge testing for dichotomous data), *Vestnik Komp'juternyh i Informacionnyh Tehnologij*, 2016, no. 2, pp. 46–51 (in Russian).
7. **Bessarabov N. A., Bondarenko A. V., Kondratenko T. N.** Avtomatizirovannaja sistema upravlenija processom testirovanija znanij (Automated control system for the testing of knowledge), *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij*, 2016, no. 5, pp. 45–51 (in Russian).
8. **Shukshunov V. E., Cibliev V. V., Potockij S. I.** *Trenazhernye komplekсы i trenazhery. Tehnologii razrabotki i opyt jekspluatacii* (Training complexes and simulators), Mashinostroenie, Moscow, Mechanical Engineering, 2005, 384 p. (in Russian).
9. **Nejman Ju. M., Hlebnikov V. A.** *Vvedenie v teoriju modelirovanija i parametrizacii pedagogicheskikh testov* (Introduction to the theory of modeling and parametrization of pedagogical tests), *Prometej*, 2000, 168 p. (in Russian).
10. **Kuznecova T. I., Tsaregorodtseva M. G.** Kompleksnaja ocenka kachestva izuchenija inostrannogo jazyka v vide summy additivnoj i mul'tiplikativnoj svertok otdel'nyh pokazatelej osvoenija razlichnyh razdelov na vseh jetapah obucheniya (Complex evaluation of the quality of learning a foreign language in the form of a sum of additive and multiplicative convolutions of separate indicators of the development of various sections at all stages of learning), *Sb. trudov HHV Mezhduнародного nauchno-tehnicheskogo seminaru "Sovremennye tehnologii v zadachah upravlenija, avtomatiki i obrabotki informacii"*, Alushta, 2016, Moscow, Technology, 2016, 208 p. (in Russian).
11. **Tsaregorodtseva M. G., Kuznecova T. I.** Postanovka zadachi optimal'nogo vybora vremeni pri samostojatel'nom izuchenii razdelov inostrannogo jazyka v komp'juternom klasse s uchetom neodinakovoj slozhnosti zadaniy i individual'nyh osobennostej obuchaemyh lic v studencheskoj gruppe (Formulation of the problem of the optimal timing for a self-study of foreign language sections in a computer class, taking into account the uneven complexity of tasks and the individual abilities of the learners in a student group), *Sb. trudov HHV Mezhduнародnoj jnauchno-tehnicheskoi konferencii "Sovremennye tehnologii v zadachah upravlenija, avtomatik i iobrabotki informacii"*, Alushta, 2016, Moscow, Technology, 2016, 209 p. (in Russian).
12. **Baker F. B., Kim S. H.** *Item Response Theory: Parameter Estimation Techniques*, NY, CRC Press, 2004, 528 p.
13. **Kang T., Cohen A. S.** IRT Model Selection Methods for Dichotomous Items, *Applied Psychological Measurement*, 2007, vol. 31, no. 4, pp. 331–358.
14. **Claeskens G., Hjort N. L.** *Model Selection and Model Averaging*, NY, Cambridge University Press, 2008, 332 p.
15. **Ayala R. J.** *The Theory and Practice of Item Response Theory*, NY, Guilford Press, 2009, 448 p.
16. **Chalmers R. P.** Mirt: A Multidimensional Item Response Theory Package for the R Environment, *Journal of Statistical Software*, 2012, vol. 48, no. 6, pp. 1–29.