СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березин Ф. Б. Психологическая и психофизиологическая адаптация человека. Л.: Наука, 1988.

2. Бодров В. А. Некоторые методологические вопросы профессионального психологического отбора военных специалистов // Использование новейших информ. технологий в мероприятиях по профессиональному психологическому отбору в Вооруженных силах РФ: мат. науч.-практ. конф. М., 2003. С. 29–31.

3. Лазуткин В. И. Состояние и перспективы совершенствования методического обеспечения мероприятий по профессиональному психологическому отбору в ВС РФ // Использование новейших информ. технологий в мероприятиях по профессиональному психологическому отбору в Вооруженных силах РФ: мат. науч.-практ. конф. М., 2003. С. 24–29.

4. Астафьев А. К. Надежность живых систем // Вопр. философии. 1967. № 6. С. 121–130.

5. Войтенко А. М. Психофизиология безопасности операторской деятельности. СПб.: Изд-во ВмедА, 2005.

6. Коган А. Б., Владимирский Б. М. Функциональные состояния человека-оператора: оценка и прогноз. Л.: Наука, 1988.

7. Крылова Н. В., Солнцева Л. С., Ставицкий К. Р. Методика оценки работоспособности человека // Методики исследования и диагностики функционального состояния и работоспособности человека-оператора в экстремальных условиях. М.: Изд-во ин-та психол. АН СССР, 1989. С. 185–192.

8. Зараковский Г. М., Медведев В. И. Классификация ошибок оператора // Техн. эстетика. 1971. № 10. С. 5–6.

9. Салвенди Г. Человеческий фактор: в 6 т. Т. 3: Моделирование деятельности, профессиональное обучение и отбор операторов. Ч. 1: Модели психологической деятельности / пер. с англ.; под ред. Е. К. Масловского. М.: Мир, 1991.

10. Салвенди Г. Человеческий фактор: в 6 т. Т. 3: Моделирование деятельности, профессиональное обучение и отбор операторов. Ч. 2: Профессиональное обучение и отбор операторов / пер. с англ.; под ред. Е. К. Масловского. М.: Мир, 1991.

E. A. Inyusheva, V. L. Kabalin
A. F. Mozhaisky Military Space Academy

PSYCHOPHYSIOLOGICAL TRAINING USED FOR MILITARY SPECIALISTS PROFESSIONALLY IMPORTANT QUALITIES DEVELOPMENT

The article provides analysis of individual and personality characteristics of military specialists with operating profile of activity. Characteristics of professionally important qualities of a military specialist were shown. Told about the necessity of using psycho-physiological techniques of trainings in the preparation of military specialists with the operating profile of activity.

Military specialist, operating activity, professionally important qualities, Self-Regulation, stress stability

УДК 004.942+37.012.3

Д. Х. Имаев, Е. Е. Котова
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Дуальное управление процессом обучения

Рассматриваются вопросы применения принципов дуального управления к проектированию обучающих систем. Приводятся примеры имитации учебного процесса, демонстрирующие возможность подстраивания параметров модели ученика.

Дуальное управление, динамические модели, обучающая система, планирование учебного процесса, когнитивный рост, экспресс-диагностирование, модель ученика

Исследованию обучающих систем и динамики управляемого когнитивного роста в последние десятилетия посвящен целый ряд публикаций (например, [1]–[7]). Целью обучающих систем (в англоязычной литературе «teaching-learning systems» [4], [5]) является создание условий для осво-

ения учениками требуемого объема знаний с удовлетворительной оценкой. К процессу достижения цели предъявляются определенные требования, вытекающие из условий организации учебы и индивидуальных характеристик учеников. Основной задачей планирования, т. е. управления учебным процессом, является распределение во времени интенсивности дидактических усилий учителя и когнитивной нагрузки ученика.

Успешность обучающих систем напрямую зависит от доступности информации о потенциальных способностях учеников, о состоянии объекта и возмущениях среды обучения. Реально управление учебным процессом происходит в условиях недостатка знаний о характеристиках объекта и среды обучения, что затрудняет распределение дидактического ресурса на весь период обучения.

Представляет интерес применение к планированию учебного процесса принципа дуального управления А. А. Фельдбаума [8]. Согласно этому принципу «управляющие воздействия должны иметь двойственный, дуальный характер: они должны быть в некотором смысле изучающими, но в известной мере также и направляющими». Идеи адаптации, обучения и дуального управления близки. Адаптивное управление, в процессе которого не только достигаются цели, но и уточняется модель, в [9] названо дуальным, т. е. буквально можно сказать, что обучающая система сама должна обучаться. Основам теории обучающихся систем посвящена работа Я. З. Цыпкина [10]. В работах [8]–[10] принят вероятностный подход к адаптации обучающей системы. Утверждается [8], что «оптимальная стратегия при дуальном управлении должна минимизировать сумму рисков действия и изучения».

В предлагаемой статье принцип дуального управления процессом обучения иллюстрируется в детерминированной постановке.

Моделирование учебного процесса. В соответствии с информационно-алгоритмическим подходом к исследованию обучающих систем ученик рассматривается как преобразователь потока информации с интенсивностью $u(t)$ в уровень усвоенных знаний $y(t)$ [11]. В терминах математики такое преобразование описывается оператором отображения интенсивности когнитивной нагрузки на множество переменных, моделирующих рост уровня знаний.

Далее принято, что базовыми единицами измерения переменных являются: условная единица времени (е. вр.), условная дидактическая единица (д. е.) и уровень усвоенных знаний в процентах достижения цели (%).

Целью управления является достижение в конце периода обучения T е. вр. уровня знаний $y(T) = 100$ % при приемлемой интенсивности дидактических усилий учителя (когнитивной нагрузки ученика) $u(t)$ д. е./ е. вр.

Пусть априорные знания о способностях ученика к обучению представлены моделью в форме нелинейного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами [11]:

$$\tau \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} + y = (\kappa_0 + \mu\, y)\ u\,, \qquad (1)$$

где $u(t)$ – интенсивность дидактических усилий, д. е/е. вр.; $y(t)$ – уровень усвоенных знаний, %; коэффициенты уравнения – κ, %/д. е. и τ, е. вр. – количественно характеризуют скорость усвоения информации и инертность ученика. Дифференциальное уравнение (1) учитывает мотивацию ученика в виде линейной зависимости коэффициента κ от достигнутого уровня знаний, где κ_0 – начальное значение скорости усвоения информации; μ, 1/д. е. – коэффициент мотивации, изменяющей скорость усвоения информации в зависимости от достигнутого уровня знаний.

Принятие модели (1) означает выбор типа, класса и структуры оператора, моделирующего ученика. Для предварительной оценки параметров κ и τ в [12] предлагаются процедуры обработки данных экспресс-диагностирования.

Компьютерная модель ученика на языке графического редактора программы MATLAB/Simulink приведена на рис. 1.

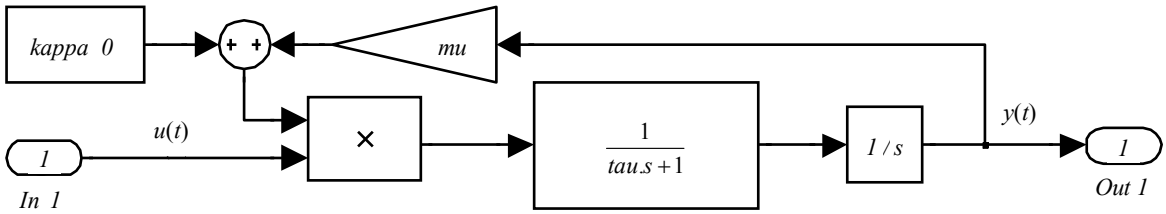

Рис. 1

Дуальное управление обучением организуется как последовательность операций.

1. Выбор формы представления априорных знаний об ученике в виде типа, класса и структуры оператора – динамической модели.

2. Экспресс-диагностирование потенциального ученика и обработка данных для оценки параметров модели.

3. Назначение модели ученика M_i.

Операция 3 при значении $i = 0$ означает выбор исходной модели M_0 – результат формализации априорной информации об ученике и/или обработки данных диагностирования.

4. Расчет интенсивности управляющего воздействия (когнитивной нагрузки) U_i и траектории роста уровня знаний $y_i^*(t)$ по модели M_i.

5. Реализация учебного процесса при интенсивности дидактических усилий U_i на $[t_i, t_{i+1}]$ и определение фактического отклонения уровня знаний в конце интервала $\delta y_i(t_{i+1}) = y_i^*(t_{i+1}) - y_i(t_{i+1})$.

6. Если ($\delta y_i(t_{i+1}) \neq 0$) и (($t_1 < T$) или ($y(t_1) < 100$)), то ($i := i + 1$ и на 7). Конец.

Условный переход 6 основан на проверке отклонения фактического уровня знаний от расчетного значения в конце интервала. В предположении об отсутствии возмущений среды отклонение $\delta y_i(t_{i+1})$ несет текущую информацию о модели.

7. Коррекция модели $M_{i+1} = M_i \otimes \delta M_{i+1}$ и управляющего воздействия U_{i+1}. Переход на 4.

Предлагаемая итерационная схема представляет систему с параметрической обратной связью (рис. 2), где блок сдвига на шаг назад $1/z$ является элементом памяти, блок в виде знака $\otimes$ обозначает мультипликативную операцию над моделями, блок $\oplus$ – элемент сравнения, выполняющий аддитивную операцию над сигналами.

Системы с обратной связью при неправильном выборе характеристик элементов могут терять устойчивость, т. е. процедура дуального управления может и не сходиться к искомому решению. Сходимость зависит от алгоритма принятия решений о подстройке параметров модели $\delta M_{i+1}(\delta y_i) = \alpha\, \delta y_i$. Слишком энергичные изменения текущей модели при выявлении отклонения траекторий могут привести к неустойчивости процедуры. С другой стороны, слишком осторожная стратегия затягивает процесс, в результате чего за время обучения T ученик не успевает достичь цели.

В конце сходящейся процедуры решаются две задачи: 1) достигается цель управления – уровень знаний 100 %; 2) получается уточненная модель ученика. В этом заключается суть дуальности управления.

Имитация процесса обучения без учета мотивации. Априорные знания о потенциальных способностях к обучению представлены линейным дифференциальным уравнением

$$\tau \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = \kappa\, u,\ y_0,\ \dot{y}_0, \qquad (2)$$

полученным из (1) при условии $\mu = 0$. Пусть в исследованиях роль «реального ученика» играет модель M_0 с параметрами $(\kappa / \tau) = (2/3)$. Положим, что обработка данных экспресс-диагностирования позволяет получить следующие оценки параметров исходной модели ученика M_0^*: $(\kappa_0^* / \tau_0^*) = (3/3)$.

Имплементация итерационной процедуры дуального управления в программной среде MATLAB/Simulink выглядит следующим образом.

Итерация 0. По исходной модели ученика M_0^* и заданной условной интенсивности непрерывной дидактической нагрузки $U_0 = 1$ д. е./е. вр. с помощью компьютерной модели вычисляется период обучения $T \cong 36$ е. вр., за который достигается 100 % знаний, а также рассчитывается траектория роста уровня знаний y_0^*, как показано на

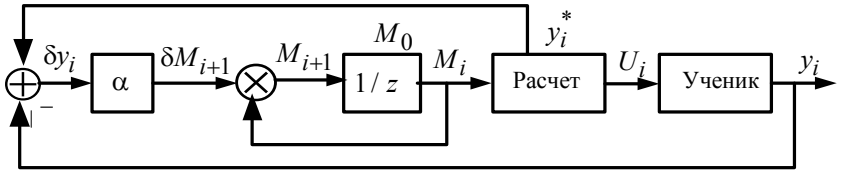

Рис. 2

рис. 3. Выберем периодичность контроля уровня знаний и коррекции дидактических усилий T_s = = 10 е. вр.

Реализация управления U_0 к объекту M_0 на интервале [0…10] е. вр. показывает, что фактическая траектория роста уровня знаний y_0 отклоняется от расчетной траектории y_0^*. Это является следствием неадекватности модели M_0^* «оригиналу» M_0. Выберем простейшую оценку отклонения $\delta y_0(10) = y_0^*(10) - y_0(10)$ – разность значений уровней в конце интервала.

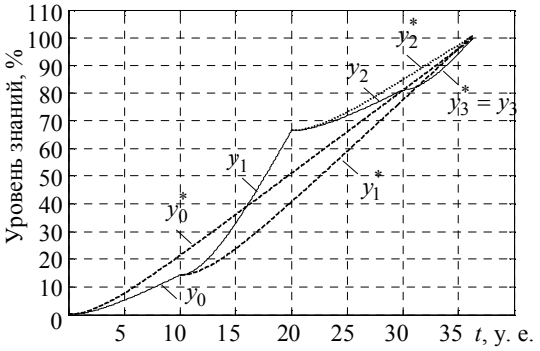

Рис. 3

В примере разность равна $\delta y_0(10)$ = 21.95 – – 14.21 = 7.74 %, что означает получение некоторых дополнительных знаний о свойствах объекта. Положительная разница $\delta y_0(10)$ означает, что в действительности студент «слабее», чем представляется исходной моделью M_0^*. Хотя эта информация слишком мала для идентификации объекта в общепринятой постановке, она может использоваться для коррекции модели.

Коррекция модели в простейшем варианте сводится к подстройке параметров модели в сторону уменьшения отклонения. Приращение параметра можно принять пропорциональным отклонению. Например, если в модели вида (1) подстраивать параметр κ, то $\delta\kappa_i = \alpha\delta y_i$, где α – коэффициент пропорциональности.

Итерация 1. Скорректируем модель с учетом знака и величины разница $\delta y_0(10)$. Уменьшим значение параметра, отражающего скорость усвоения материала: положим, что M_1^* имеет параметры (1/ 3). Рассчитаем интенсивность дидактических усилий U_1 = 3.68 д. е./е. вр. и траекторию y_1^* на интервале условного времени [10…36] по скорректированной модели при начальном условии 14.21 % и конечном условии 100 %.

Реализация U_1 на интервале [10…20] дает траекторию y_1 со значением 66.52 % в конце периода вместо расчетного значения 40.18 %. Отрицательное отклонение означает «недооцененность ученика».

Итерация 2. Скорректируем модель; положим, что M_2^* имеет параметры (2.5/3), и рассчитаем управление U_2 = 1.03 д. е./е. вр., переводящее из 66.52 % при $t = 20$ е. вр. в 100 % при $t = 36$ е. вр. Получим расчетную траекторию y_2^*.

Реализация U_2 на интервале [20…30] дает траекторию y_2 со значением в конце интервала 81.16 % вместо 85.28 %. Положительное отклонение означает «переоцененность ученика».

Итерация 3. Скорректируем модель M_3^* с параметрами (2/3) и рассчитаем управление U_3 = = 2.66 д. е./е. вр., переводящее из 81.16 % в начале интервала [30…36] до 100 % в конце.

Поскольку «угаданы» значения параметров, то совпадают расчетная и фактическая траектории $y_3^*(t) = y_3(t)$. Тем самым завершается итерационный процесс «управления-изучения».

Последовательность постоянных воздействий на четырех интервалах: $U_0 = 1$; U_1 = 3.68; U_2 = = 1.03; U_3 = 2.66 дает совокупный дидактический ресурс Σ = (1.0+3.68+1.03)* 10 + 2.66*6 = 73 д. е.

Чем меньше суммарный ресурс Σ, тем успешнее поиск. При выборе числа интервалов I (числа контрольных точек) и коррекции дидактических усилий и алгоритма принятия решений о подстройке параметров модели кроме обеспечения сходимости за время обучения T следует минимизировать ресурс, т. е. руководствоваться критерием

$$\Sigma = \sum_{i=0}^{I} U_i(t_i - t_{i-1}) \to \min.$$

Процедура дуального управления создает параметрическую (мультипликативную) обратную связь (см. рис. 2), в силу чего уменьшается зависимость результатов от неопределенности параметров объекта. Однако при отсутствии в системе контура отрицательной обратной связи полностью сохраняется влияние сигнальных возмущений среды обучения.

Дуальное управление процессом обучения при неопределенной мотивации ученика. Знания о потенциальных способностях к обучению представлены нелинейным дифференциальным уравнением (1). Пусть для примера роль «реального ученика» играет модель M_0 с параметрами $(\kappa / \tau / \mu)$ = (3/3/0.1), причем значение коэффициента мотивации $\mu = 0.1$ 1/д. е. в начале процесса управления не известно.

Известен период обучения $T = 48$ е. вр., за который ученик должен усвоить уровень 100 % знаний. Выберем периодичность контроля уровня знаний и коррекции дидактических усилий T_s = = 12 е. вр.

Итерация 0. Положим, что вначале неверно оценен коэффициент мотивации μ_0^* = 0.03 1/д. е. По исходным параметрам ученика M_0^* с помощью компьютерной модели (см. рис. 1) вычисляется интенсивность дидактических усилий $U_0 = 0.515$ д. е./е. вр., которая за 48 е. вр. обеспечивает достижение 100 % уровня знаний. Траектория роста уровня знаний y_0^* приведена на рис. 4. Реализация управления U_0 к объекту M_0 на интервале [0…12] е. вр. показывает, что фактическая траектория роста уровня знаний y_0 отклоняется от расчетной траектории y_0^*. Это является следствием неадекватности модели M_0^* «оригиналу» M_0. Разность значений уровней в конце интервала $\delta y_0(12) = y_0^*(12) - y_0(12)$ = 15.12 – – 17.81 = –2.69 % отрицательна, что означает, что в действительности студент мотивирован более, чем представляется исходной моделью M_0^*.

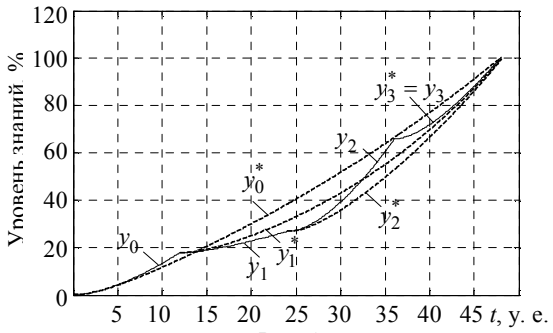

Рис. 4

Итерация 1. Скорректируем модель с учетом знака и величины разницы $\delta y_0(12)$. Увеличим коэффициент мотивации; положим, что M_1^* имеет параметры (3/3/0.2). Рассчитаем интенсивность дидактических усилий U_1 = 0.19 д. е./е. вр. и траекторию y_1^* на интервале условного времени [12…48] по скорректированной модели при начальном условии 17.81 % и конечном условии 100 %. Реализация U_1 на интервале [12…24] дает траекторию y_1 со значением 26.76 % в конце периода вместо расчетного значения 31.02 %. Положительное отклонение $\delta y_1(24) = 4.25$ % означает «переоцененность ученика».

Итерация 2. Скорректируем модель; положим, что M_2^* имеет параметры (3/3/0.05), и рассчитаем управление U_2 = 0.58 д. е./е. вр., переводящее из 26.76 % при $t = 24$ е. вр. в 100 % при $t = 48$ е. вр. Получим расчетную траекторию y_2^* (рис. 4). Реализация U_2 на интервале [24…36] дает траекторию y_2 со значением в конце интервала 65.9 % вместо 52.0 %. Отрицательное отклонение $\delta y_2(36) = -13.9$ % означает «недооцененность ученика».

Итерация 3. Скорректируем модель M_3^* с параметрами (3/3/0.1) и рассчитаем управление U_3 = 0.34 д. е./е. вр., переводящее из 65.9 % в начале интервала [36…48] до 100 % в конце. Поскольку «угаданы» значения параметров моделей M_3^* и M_0, то совпадают расчетная и фактическая траектории $y_3^*(t) = y_3(t)$. Тем самым завершается итерационный процесс «управления-изучения».

В результате сходящейся процедуры достигается цель управления и получается уточненная модель ученика M_3^*.

В последние годы возросло внимание к проектированию учебного процесса применительно к задачам формирования структуры контента и способам представления изучаемого материала, главным образом, при так называемом электронном обучении (e-learning) [13]. Системы электронного обучения LMS (Learning Management Systems – системы управления обучением) и LCMS (Learning Content Management Systems – системы управления учебным контентом) ориентированы на разработчиков электронных курсов и представляют собой программное обеспечение для функционирования систем дистанционного

обучения и управления содержанием учебного контента [http://seemedia.ru/wp-content/uploads/E-learning.pdf]. Помимо экономии времени и сокращения затрат преимуществом e-learning можно считать расширение возможностей общения студентов с преподавателями. Несмотря на смещение акцента разработок от систем LMS к системам управления образовательной деятельностью, вопросам планирования роста уровня знаний во времени и построению динамических моделей обучаемых уделяется недостаточно внимания.

В статье принят информационно-алгоритмический подход к исследованию обучающих систем. Задача распределения когнитивной нагрузки во времени решается на основе динамических моделей обучающихся. Приведены примеры, иллюстрирующие дуальное управление обучением, когда дефицит априорной информации об индивидуальных характеристиках обучающегося, его способности к восприятию и переработке учебной информации восполняется за счет текущей информации, извлекаемой в процессе управления дидактическим ресурсом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Van Geert P. Dynamic Systems Model of Cognitive and Language Growth// Psychological Review, 0033-295X. 1991. Jan. 1. Vol. 98, iss. 1. URL: http://www.paulvangeert.nl/publications_files/psychological%20review%201991.htm

2. Van Geert P. Dynamic systems approaches and modeling of developmental processes // J. Valsiner and K. J. Conolly (Eds.), Handbook of developmental Psychology. London: Sage, 2003. P. 640–672.

3. Van Geert P. Dynamic modeling for development and education: from concepts to numbers// Mind, Brain and Education. 2014. № 8 (2). P. 57–73.

4. Eftekhar N., Strong D. R., Hawaleshka O. Towards Dynamic Modeling of a Teaching/Learning System: 1. The Unified Theory // Int. J. Eng. Educ. 1996. Vol. 6, № 12. P. 401–407.

5. Eftekhar N., Strong D. R. Towards Dynamic Modeling of a Teaching/ Learning Process: 3. The Simulation Model // Int. J. Eng. Educ. 1999. Vol. 15, № 3. P. 168–190.

6. Thelen E., Smith L. B. A dynamic systems approach to the development of cognition and action. Cambridge, MA: MIT Press, 1994.

7. Майер Р. В. Кибернетическая педагогика: имитационное моделирование процесса обучения. Глазов: Изд-во ГГПИ, 2013.

8. Фельдбаум А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем. М.: Наука, 1966.

9. Растригин Л. А. Адаптация сложных систем. Рига: Зинатне, 1981.

10. Цыпкин Я. З. Основы теории обучающихся систем. М.: Наука, 1970.

11. Имаев Д. Х., Котова Е. Е. Моделирование и имитация процессов обучения с разделением дидактических ресурсов. Динамический подход. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014.

12. Имаев Д. Х., Котова Е. Е. Оценка параметров динамических моделей обучаемых по результатам экспресс-диагностирования // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. № 10. С. 71–77.

13. Обзор Мирового и российского рынка электронного обучения. URL: http://seemedia.ru (дата обращения 10.12.2014).

D. H. Imaev, E. E. Kotova
Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

DUAL CONTROL OF THE LEARNING PROCESS

The article presents the application of dual control principles to the design of learning systems. Are examples of imitation learning process, demonstrating the possibility of adjustment to the parameters of the student's model.

Dual control, dynamic models, training systems, educational planning, cognitive growth, rapid diagnosis, student's model