УДК 37:001.891.573
ГРНТИ 20.17.77

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ КУРСАНТОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

А.А. ХВОСТОВ, доктор технических наук, профессор
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
В.В. СИНЮКОВ, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

В статье рассматриваются подходы к моделированию процесса обучения курсантов с учетом интенсивности усвоения (забывания) информации на основе теории марковских процессов. Предложен подход, позволяющий управлять качеством подготовки и оперативно вносить изменения в действующие учебные планы с целью оптимального распределения учебного времени.

Ключевые слова: математическое моделирование; цепи Маркова; усвоение информации; интенсивность забывания информации.

CADETS TRAINING MODELLING PROCESS ON THE MARKOV CHAINS THEORY BASIS

A.A. KHVOSTOV, Doctor of Technical Sciences, Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
V.V. SINYUKOV, Candidate of Technical Sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

In article approaches to modelling process of training cadets taking into account intensity of assimilation (forgetting) information on the basis of the theory of Markov processes are considered. The approach allowing to operate quality of training is offered and to quickly make changes to the existing curricula for the purpose of optimum distribution of study time.

Keywords: mathematical modelling; Marcov chains; information assimilation; information forgetting intensity.

Введение. В современных условиях технического и технологического прогресса, прорывных решений в области телекоммуникаций и, как следствие, лавинообразного роста количества доступной информации, процессы обучения не укладываются в жесткие рамки традиционных систем обучения, основанных на знаниях, закрепленных в методических разработках, рассчитанных на долгосрочный период использования (5-10 лет). Внедрение компетентностного подхода в высших военно-учебных заведениях Министерства обороны Российской Федерации (ввузах МО РФ), а также необходимость адаптации к изменениям в технологическом укладе и уровню подготовки абитуриентов привели к высокой частоте изменений образовательных стандартов и их дополнений. Причем ввиду необходимости создания пространства для маневра ВУЗами МО РФ из стандартов постепенно вымывается содержательная часть в пользу формулировок компетенций.

СОДЕРЖАНИЕ

Актуальность. Сложившаяся ситуация приводит к дефициту времени на апробацию разрабатываемых учебных планов, рабочих программ, курсов переподготовки и т.д., что делает крайне актуальной задачу математического моделирования процессов обучения. Наличие математической модели позволяет с помощью численных экспериментов провести исследования эффективности процесса обучения, сократить время и затраты на модернизацию учебных планов и программ. В большинстве случаев даже качественная информация о характеристиках процесса обучения позволяет повысить эффективность управленческих решений.

Процессы обучения основываются на представлениях раздела психологии, который называется «когнитивная психология». Обычно выделяют три класса моделей обучения: модель на основе механизма образования условных рефлексов (рефлекторная модель И.П. Павлова); ассоциативная модель, основанная на ассоциативной теории обучения; лабиринтная модель, при которой процесс обучения состоит в эвристическом поиске в лабиринте возможных альтернатив и оценивании движения по лабиринту на основе локальных критериев. В педагогике выделяют такие теории обучения, как бихевиористская, ассоциативно-рефлекторная теория усвоения, теория поэтапного формирования умственных действий, теория алгоритмизации, трансформационная теория обучения [1]. На этой основе в зарубежной и отечественной науке сложились подходы к математическому моделированию процессов обучения. Среди них можно выделить модели на основе систем обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих динамику изменения количественных характеристик усвоенной информации или степени освоения предмета [2], конечно-автоматные модели обучения[3], вероятностные модели [4]; модели на основе сетей Петри [5]. Основными недостатками рассмотренных моделей являются: сложность проверки их адекватности, трудноформализуемые критерии качества обучения, чувствительность к входным возмущениям в виде начального уровня подготовки обучаемых и условий обучения, использование их для управления качеством процесса обучения на основе компетентностного подхода затруднительно, а в ряде случаев не представляется возможным.

Цель работы – создание подхода к математическому моделированию процесса обучения, позволяющего прогнозировать состояния системы в заданные промежутки времени и оперативно вносить управляющее воздействие в действующие учебные планы, с целью оптимального распределения учебного времени на формирование поддерживаемых компетенций.

Разработка математической модели. В рамках вероятностных моделей особый интерес представляют модели процесса обучения на основе цепей Маркова [4]. Подготовка курсантов рассматривается как недетерминированный процесс в некоторой системе передачи знаний от субъектов к объектам обучения. Под действием случайных факторов с течением времени система может переходить из одного состояния в другое. Состояния ассоциируются с результатами подготовки на основании соответствующих процедур (экзаменов, зачетов, тестов и т.д.). Дискретное конечное множество состояний при использовании компетентностного подхода описывается в виде следующих лингвистических термов:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\} = \left\{ \begin{matrix} \text{"}\textit{неосвоена}\text{"}, \text{"}\textit{знает}\text{"}, \\ \text{"}\textit{умеет}\text{"}, \text{"}\textit{владеет}\text{"} \end{matrix} \right\}.$$

Таким образом, предлагается математическая модель для описания показателя эффективности процесса обучения

СОДЕРЖАНИЕ

$$P = f(U, G, t), \qquad (1)$$

где $U = \{u_k, k = 1,2,...K\}$ – множество состояний уровней освоения компетенций в соответствии с принятым количеством уровней разбиения *K*; $G = \{g_m, m = 1,2,...M\}$ – множество оценок показателя P для каждого из субъектов обучения.

Для снижения вычислительной сложности множество G заменим на среднее арифметическое этой величины по группе или потоку. Тогда для описания динамики показателя качества процесса обучения используется система уравнений для каждого из состояний уровня освоения компетенции:

$$\begin{cases} \dfrac{dP_1(t)}{dt} = f_1(t) \\ \dfrac{dP_k(t)}{dt} = f_k(t) \\ ... \\ \dfrac{dP_K(t)}{dt} = f_K(t) \end{cases} \qquad (2)$$

где $f_k(t), k = 1,2,...K$ – некоторая функция, описывающая закон изменения показателя качества процесса обучения.

При синтезе структуры математической модели, в рамках теории цепей Маркова, приняты следующие допущения: процесс обучения носит последовательно рекурсивный характер; рекурсивность интенсивности потоков обучения подразумевает возврат к начальному состоянию, если объекта обучения не устраивает уровень обучения (освоения компетенции); интенсивность потока обучения отражает скорость изменения накопления знаний, умений и навыков и характеризуется величиной λ, а скорость изменения вероятности рекурсивного перехода отражает скорость регресса (забывания) соответствующих умений и навыков величиной μ; процесс подготовки моделируется переходом из состояния x_i в x_j, где $j - i$<2, при этом интенсивностью переходов λ_{ij} при *j*-*i*>1 пренебрегаем, а все рекурсивные интенсивности переходов $\mu_{ij} = 0$, кроме μ_{i1}; состояние системы характеризуется вероятностью P_i, где $i = \overline{1,4}$. При принятых допущениях граф состояний представлен на рисунке 1.

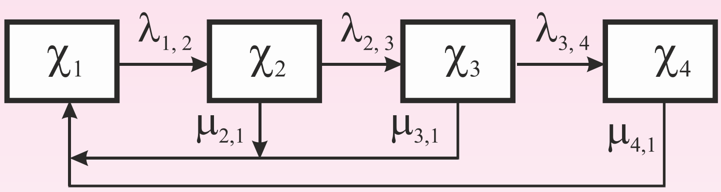

Рисунок 1 – Граф состояний

Для непрерывного времени $P_i(t)$ – вероятность того, что система в момент времени t находится в состоянии x_i, причем $\sum_{i=1}^{4} P_i(t) = 1$. Вероятности состояний оценивались по соотношению:

СОДЕРЖАНИЕ

$$P_i = \frac{N_i}{N_{общ,}}, \tag{3}$$

где N_i – число обучающихся, принадлежащих i-му состоянию, $N_{общ.}$ – общее число обучающихся.

Изменение интенсивности накопления и регресса знаний описываются функциями [3]:

$$\varphi_\lambda(\vartheta_\lambda^{[i,j]}, t) = A_\lambda^{[i,j]}(1 - e^{-\vartheta_\lambda^{[i,j]} t}) \tag{4}$$

$$\varphi_\mu(\vartheta_\mu^{[i,1]}, t) = A_\mu^{[i,1]} e^{-\vartheta_\mu^{[i,1]} t}, \tag{5}$$

где A_λ – требуемый уровень подготовки при $t \to \infty$; A_μ – уровень подготовки при $t = 0$; $\vartheta_\lambda, \vartheta_\mu$ – кинетические коэффициенты, характеризующие степень усвоения информации и регресса в процессе обучения.

Математическая модель динамики учебного процесса с учетом (4), (5) примет вид:

$$\begin{cases} \dfrac{dP_1(t)}{dt} = A_\mu^{[2,1]} e^{-\vartheta_\mu^{[2,1]} t} P_2(t) + A_\mu^{[3,1]} e^{-\vartheta_\mu^{[3,1]} t} P_3(t) + \\ + A_\mu^{[4,1]} e^{-\vartheta_\mu^{[4,1]} t} P_4(t) - A_\lambda^{[1,2]}(1 - e^{-\vartheta_\lambda^{[1,2]} t}) P_1(t); \\ \dfrac{dP_2(t)}{dt} = A_\lambda^{[1,2]}(1 - e^{-\vartheta_\lambda^{[1,2]} t}) P_1(t) - \\ - A_\lambda^{[2,3]}(1 - e^{-\vartheta_\lambda^{[2,3]} t}) P_2(t) - A_\mu^{[2,1]} e^{-\vartheta_\mu^{[2,1]} t} P_2(t); \\ \dfrac{dP_3(t)}{dt} = A_\lambda^{[2,3]}(1 - e^{-\vartheta_\lambda^{[2,3]} t}) P_2(t) - \\ - A_\lambda^{[3,4]}(1 - e^{-\vartheta_\lambda^{[3,4]} t}) P_3(t) - A_\mu^{[3,1]} e^{-\vartheta_\mu^{[3,1]} t} P_3(t); \\ \dfrac{dP_4(t)}{dt} = A_\lambda^{[3,4]}(1 - e^{-\vartheta_\lambda^{[3,4]} t}) P_3(t) - A_\mu^{[4,1]} e^{-\vartheta_\mu^{[4,1]} t} P_4(t); \\ P_1(0) = 1, P_2(0) = 0, P_3(0) = 0, P_4(0) = 0. \end{cases} \tag{6}$$

Исследование эффективности модели. Для параметрической идентификации модели (6) проведено экспериментальное исследование процесса обучения группы курсантов по предмету «Средства поверки вооружения и военной техники» в рамках существующего учебного плана путем введения вариативной части в объеме часов самоподготовки. Для эксперимента была отобрана контрольная группа в составе 21 человека.

В процессе двухсеместрового обучения (около 350 дней) осуществлялись контрольные срезы, оценивающие уровень освоения компетенции в группе. За вероятность освоения компетенции на заданном уровне принято отношение освоивших курсантов к общему числу в группе.

Поиск параметров модели (6) методом сопряженных градиентов с мультистартом осуществлялся минимизацией критерия:

$$\varepsilon_\Sigma = \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{4}(P_{ij} - \widetilde{P}_{ij})^2 \xrightarrow[\lambda_i, \mu_i]{} \min, \tag{7}$$

где j – номер временного среза, i – номер категории в заданной шкале.

СОДЕРЖАНИЕ

Средняя относительная ошибка расчетов составила 14,2 %. Пример распределения уровней освоения компетенций расчетных и реальных данных представлены на рисунках 2, 3.

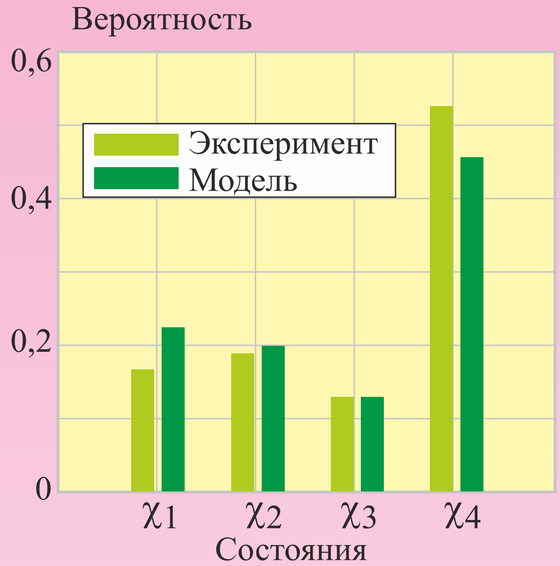

Рисунок 2 – Сравнительная оценка успеваемости при подготовке курсантов (90 дней обучения)

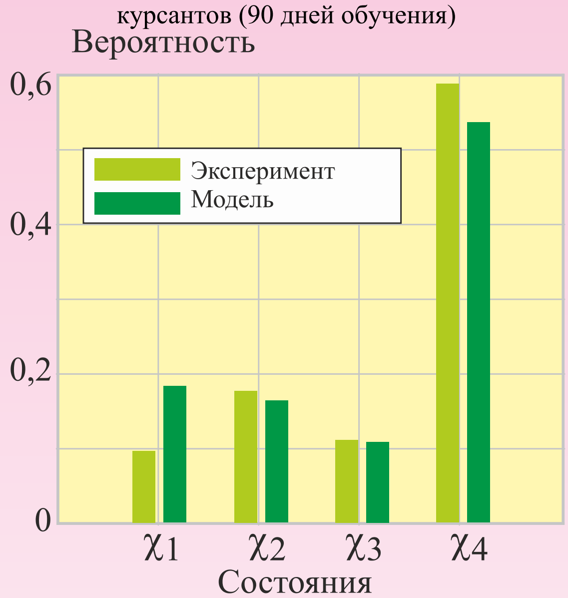

Рисунок 3 – Сравнительная оценка успеваемости при подготовке курсантов (150 дней обучения)

Разработанная математическая модель (6) позволяет получать нестационарные оценки распределений по состояниям информационной системы подготовки в заданной шкале, то есть количественно оценить процент снижения или увеличения качества подготовки (вероятности нахождения системы в состоянии x4 – «владеет») при изменении сроков обучения. Таким образом, разработанная математическая модель является инструментарием исследования качества подготовки и может быть использована в процессе её оптимизации.

Практическое применение. Например, на рисунке 4 показано изменение вероятности состояния «*владеет*» для двух дисциплин: «1-я дисциплина» (425 ч.) и «2-я дисциплина» (160 ч.). В процессе оптимизации возможно обоснованное изменение учебного плана путем переноса времени обучения в размере 5 недель с «1-й дисциплины» на 2-ю, при этом по оценке математической модели будет несущественное (около 2,1 %)

снижение вероятности нахождения в состоянии «*владеет*» для «1-й дисциплины» и, соответственно, увеличение на 8,3 % для «2-й дисциплины», что позволяет говорить о корректности принятого изменения учебного плана в ходе процесса оптимизации.

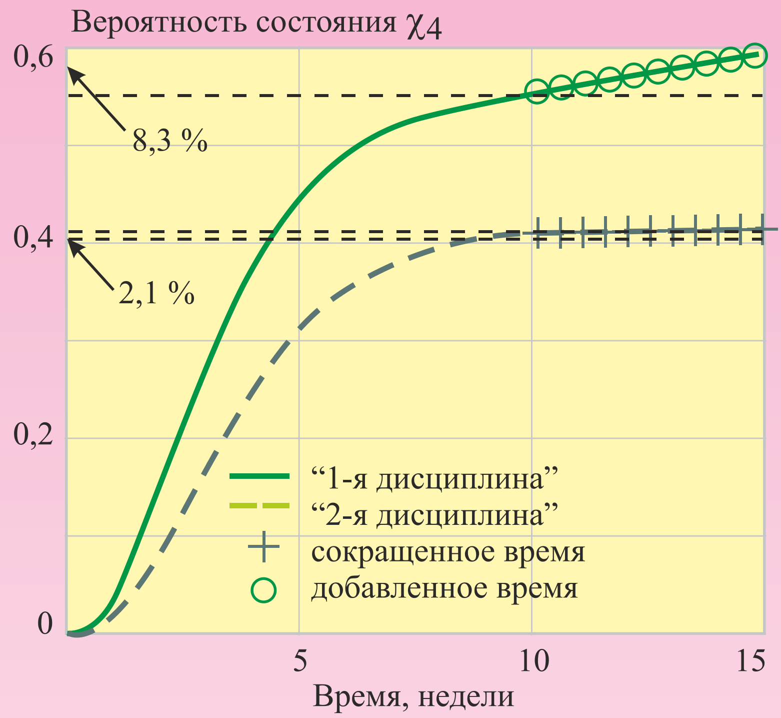

Рисунок 4 – Динамика процесса обучения

Заключение. Таким образом, предложенный подход к разработке математической модели учебного процесса на основе Марковских цепей, позволяет управлять качеством подготовки курсантов и оперативно вносить изменения в действующие учебные планы с целью оптимального распределения учебного времени на формирование поддерживаемых компетенций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Талызина, Н.Ф. Управление процессом усвоения знаний (психологические основы). М.: МГУ, 1984. С. 54–65.

2. Карпенко А.П. Модельное обеспечение автоматизированных обучающих систем. Обзор [Электронный ресурс] // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2011. № 7. URL: http://www.technomag.edu.ru (дата обращения 20.01.2016).

3. Майер Р.В. Кибернетическая педагогика. Имитационное моделирование процесса обучения: монография. Глазов: ГГПИ, 2014. 141 с.

4. Вероятностно-статистические стратегии обеспечения подготовки персонала социотехнических систем / Б.Д. Залещанский, А.П. Свиридов, О.А. Шаболина, Е.А. Шаболина // Информационные технологии. 2013. № 8. С. 67–70.

5. Дерябина С.Е., Яковлев С.В. Разработка математических моделей процесса прохождения курса обучения на базе раскрашенных сетей Петри // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2012. № 2 (31). С. 24–27.

BIBLIOGRAPHY

1. Talyzina N.F. Management of process assimilation of the knowledge (psychological bases). M.: MSU, 1984. P. 54–65.

2. Karpenko A.P. Model providing the automated training systems. Review [Electronic resource] // Science and education: electronic scientific and technical edition. 2011. No. 7. URL: http://technomag.edu.ru (accessed 20.01.2016).

3. Mayer R.V. Cybernetic pedagogy. Simulation of the learning process: monograph. Glazov: GGPI, 2014. 141 p.

4. Probability and statistical strategies to ensure staff training in socio-technical systems / B.D. Zaleshchansky, A.P. Sviridov, O.A. Shabolina, E.A. Shabolina // Information technologies. 2013. No. 8. P. 67–70.

5. Deryabina S.E., Yakovlev S.V. Development of mathematical models process passing of a course on the basis of the painted Petri's networks // The Bulletin of the North Caucasian state technical university. 2012. No. 2 (31). P. 24–27.

Хвостов Анатолий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры математики, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Синюков Виктор Васильевич, кандидат технических наук, начальник отдела научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

СОДЕРЖАНИЕ