

УДК 372.8

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ

Боровиков И.Г., Дьяков А.Н., Левчук А.А., Покидов А.Ю.
ФГБВОУ ВО «ВКА имени А.Ф. Можайского» МО РФ, Санкт-Петербург,
e-mail: borovikovig@mail.ru, diakov@mail.ru, lev80@yandex.ru, kitzit@bk.ru

Представлен подход к моделированию процесса обучения эксплуатирующего персонала с применением учебно-тренировочных средств. Актуальность темы определяется необходимостью обучения с помощью учебно-тренировочных средств и отсутствием моделей позволяющих прогнозировать продолжительность процесса обучения. Авторами предложено раздельное описание процесса теоретического и практического обучения. Представлены результаты моделирования процесса обучения с использованием учебно-тренировочных средств с применением комплекса моделей обучения. Подготовка эксплуатирующего персонала является первоочередной задачей эксплуатации и обеспечивающей решение других задач. В практике эксплуатации любые задачи выполняются с помощью привлечения эксплуатирующего персонала, а уровень подготовки персонала влияет непосредственно на показатели качества выполнения целевой задачи, к примеру на вероятность безотказной работы оборудования. Необходимо отметить, что для подготовки эксплуатирующего персонала используются учебно-тренировочные средства и наиболее важным моментом при формировании методики использования учебно-тренировочных средств будет рациональное перераспределение продолжительности теоретического обучения и практической подготовки. С целью обучения эксплуатирующего персонала в современных условиях используют учебно-тренировочные средства, но отсутствие адекватного математического моделирования процесса обучения, процесс обучения с использованием учебно-тренировочных средств не позволяет правильно прогнозировать и оценивать продолжительность процесса обучения, что говорит об актуальности задачи разработки и совершенствования математического моделирования процесса обучения.

Ключевые слова: учебно-тренировочное средство, математические модели обучения, адаптивное обучение, цепь Маркова, моделирование процесса обучения

THE METHOD OF USING TRAINING TOOLS LEARNING TECHNICAL PERSONNEL

Borovikov I.G., Dyakov A.N., Levchuk A.A., Pokidov A.Yu.
Mozhaisky Military Space Academy, Saint-Petersburg,
e-mail: borovikovig@mail.ru, diakov@mail.ru, lev80@yandex.ru, kitzit@bk.ru

An approach to modeling the process of training operating personnel using training tools is presented. The relevance of the topic is determined by the need for training with the help of training tools and the lack of models that allow you to predict the duration of the training process. The authors offer a separate description of the process of theoretical and practical training. The results of modeling the learning process using training tools with the use of a set of training models are presented. Training of operating personnel is the primary task of operation and provides solutions to other tasks. In the practice of operation, any tasks are performed using the involvement of operating personnel, and the level of training of personnel directly affects the quality indicators of the target task, for example, the probability of failure-free operation of equipment. It should be noted that training facilities are used to train operating personnel, and the most important point in forming the methodology for using training facilities will be a rational redistribution of the duration of theoretical training and practical training. For the purpose of training operating personnel, in modern conditions, training tools are used, but the lack of adequate mathematical modeling of the training process, the training process using training tools does not allow you to correctly predict and evaluate the duration of the training process, which indicates the relevance of the task of developing and improving mathematical modeling of the training process.

Keywords: training tool, mathematical models of learning, adaptive learning, markov chain, modeling of the learning process

Обучение персонала можно представить как управляемый динамический процесс, направленный на достижение цели обучения всеми обучающимися (максимальное приближение к цели обучения), опираясь на текущий уровень знаний обучающегося, уровень его навыков и умений. Управление процессом обучения состоит из планирования процесса обучения, применение обучающих воздействий на каждом этапе обучения и контроль уровня обученности [1].

Целесообразно отметить, что процесс обучения с использованием учебно-тренировочных средств разделен на обособленную практическую и теоретическую части и обладает рядом особенностей [2]. Важной особенностью теоретической части является разделение программы обучения на обособленные части обучающего материала с фиксированным временем их изучения. Части обучающего материала состоят из основного материала, дополнительного и тестовой части. Переход от одной части

к следующей определяется необходимостью выполнения теста.

Цель исследования – предложить комплекс математических моделей теоретического и практического обучения, которые позволят прогнозировать оптимальный план обучения эксплуатирующего персонала по критерию максимума вероятности выполнения задачи.

Материалы и методы исследования

При проведении исследования разработана модель процесса теоретического обучения в системе MathLab на основе накопленных данных о функционировании учебно-тренировочных средств. Проведено моделирование процесса практического обучения в системе MathCad с использованием выходных данных моделирования теоретического обучения. На основе выходных данных результатов моделирования теоретического и практического обучения проведено имитационное моделирование выполнения технологических операций с учетом закономерностей практического и теоретического обучения. В результате методом регрессионного анализа была определена целевая функция. Полученные при расчетах данные использованы для уточнения плана обучения. Под уровнем обученности в статье понимается значение уровня знаний (продолжительность изучения теоретического материала, продолжительность выполнения операций по идентификации неисправности, продолжительность выполнения операций по поиску причин неисправности, продолжительность выполнения операций по восстановлению работоспособного состояния оборудования).

Результаты исследования и их обсуждение

Подход к моделированию теоретического обучения

Обращая внимание на описанные выше особенности теоретической части обучения с использованием учебно-тренировочных средств, целесообразно описать процесс обучения с использованием конечной цепи Маркова с дискретным временем (рис. 1) [3]. Узел графа задает одну из составных частей процесса обучения (изучение основной части курса, тестирование, изучение дополнительной части курса и т.д.). С помощью дуг графа между узлами отображаются логические связи блоков с указанием вероятности перехода между блоками. Значение вероятности переходов от одного блока к другому зависит от индивидуальных способностей обучающегося, их возможно определить с использованием статистических методов и апостериорно корректировать.

Опираясь на основные положения теории цепей Маркова, возможно рассмотреть процесс обучения как динамическую систему, которая находится в одном из состояний в конкретный момент времени [4].

На рисунке

$M_a(t_g^m) \in M(t_g^m) = \{M(t_1^m), \dots, M(t_m^m) | t_g^m \leq t_{\Sigma}^{oo}\}$ – состояния, соответствующие этапам изучения теоретического материала.

На основе накопленных данных о функционировании учебно-тренировочных средств составляется матрица переходных вероятностей [5] (1), характеризующая начальный уровень теоретических знаний обучающегося.

$$W(t_g^m) = \|w_{ab}(t_g^m)\| = \begin{bmatrix} w_{11}(t_g^m) & w_{12}(t_g^m) & \dots & w_{1h}(t_g^m) \\ w_{21}(t_g^m) & w_{22}(t_g^m) & \dots & w_{2h}(t_g^m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{h1}(t_g^m) & w_{h2}(t_g^m) & \dots & w_{hh}(t_g^m) \end{bmatrix}; \quad (1)$$

$$\sum_{b=1}^h w_{ab}(t_g^m) = 1, a = 1, 2, \dots, h.$$

где $w_{hh}(t_g^m)$ – вероятность перехода между этапами изучения теоретического материала.

Получив из опытных данных фундаментальную матрицу Маркова (2), становится возможным вычисление средней продолжительности изучения теоретического материала (3), произвести оценку дисперсии продолжительности изучения теоретического материала (4) и среднеквадратичного отклонения продолжительности изучения теоретического материала (5) [6].

$$N = (I - Q)^{-1}, \quad (2)$$

где Q – матрица переходов между непоглощающими состояниями;

$$t^{meop} = \sum_{b=1}^r n_{1b} \cdot t_b^m, \quad (3)$$

где n_{1b} – среднее количество попаданий в состояние,

t_b^m – продолжительность нахождения в состоянии;

$$D = N(2N_{dg} - I) - N_{sq}, \quad (4)$$

$$\sigma_t = \sum_{a=1}^r \sqrt{D_{1,a}} \cdot t_a^m. \quad (5)$$

Оставшееся для обучения время распределяется на совершенствование практических навыков идентификации, поиска причин и восстановление работоспособного состояния оборудования.

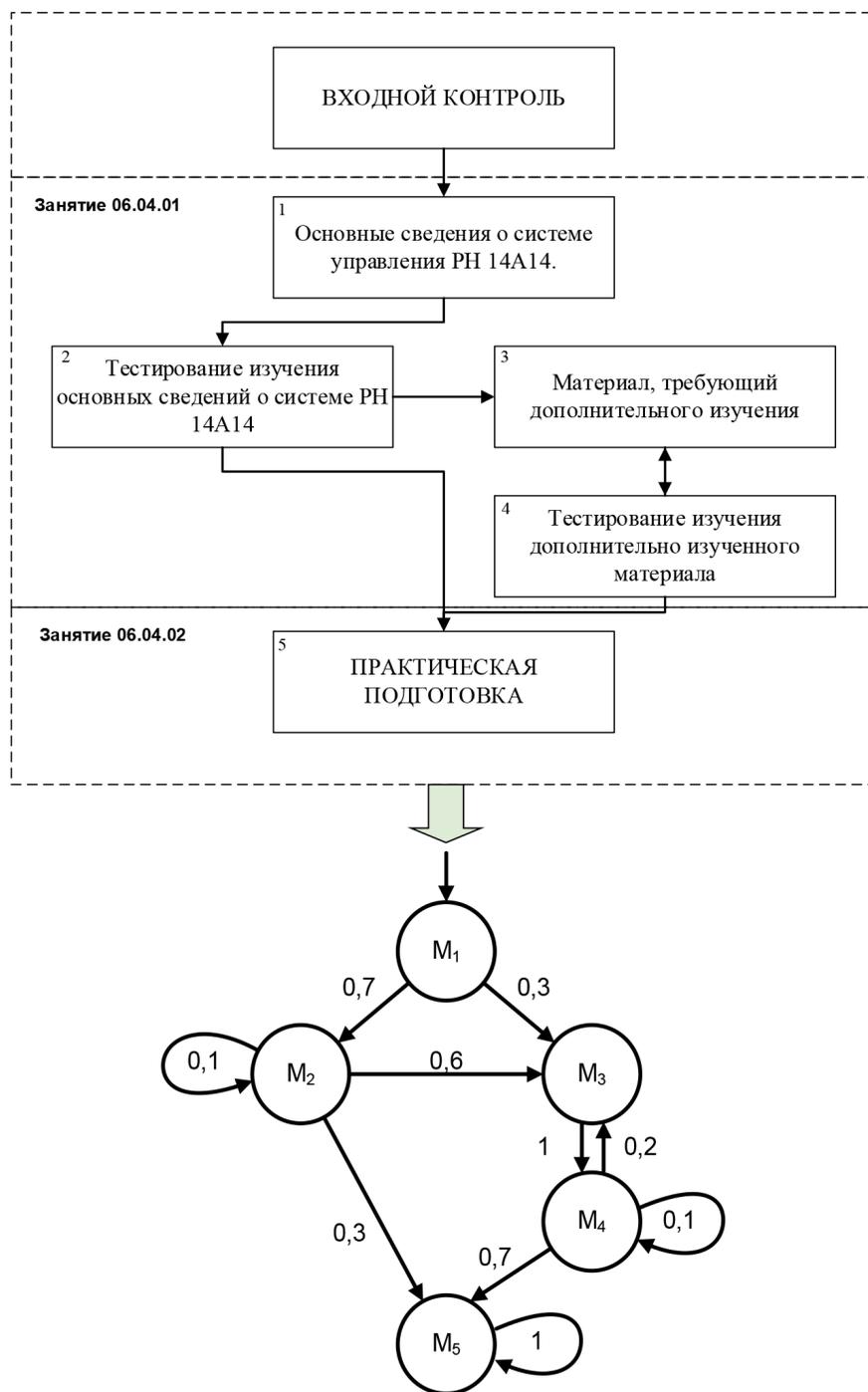


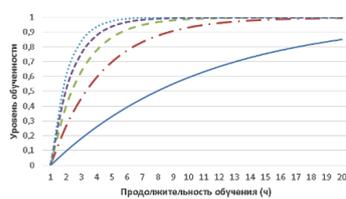
Рис. 1. Модель изучения теоретического материала

Подход к моделированию практического обучения

Анализ всевозможных математических моделей формирования практических навыков позволил установить, что наиболее подходящими моделями для практического обучения эксплуатирующего персонала являются:

- экспоненциальная модель для обучения идентификации (рис. 2);
- логистическая модель для обучения поиску причин (рис. 3);
- модель подкрепления для обучения восстановлению работоспособного состояния оборудования (рис. 4).

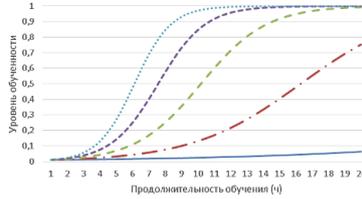
$$l(t_1) = \bar{t}^{ud\kappa} + (\bar{t}^{ud\eta} - \bar{t}^{ud\kappa})e^{-y_1 t_1}$$



- $\bar{t}^{ud\eta} = 0,1; \bar{t}^{ud\kappa} = 1; y_1 = 0,3; t_1 = 1...20$
- · - $\bar{t}^{ud\eta} = 0,1; \bar{t}^{ud\kappa} = 1; y_1 = 0,5; t_1 = 1...20$
- - - $\bar{t}^{ud\eta} = 0,1; \bar{t}^{ud\kappa} = 1; y_1 = 0,1; t_1 = 1...20$
- - - - $\bar{t}^{ud\eta} = 0,1; \bar{t}^{ud\kappa} = 1; y_1 = 0,9; t_1 = 1...20$
- · · · $\bar{t}^{ud\eta} = 0,1; \bar{t}^{ud\kappa} = 1; y_1 = 0,7; t_1 = 1...20$

Рис. 2. Экспоненциальная модель

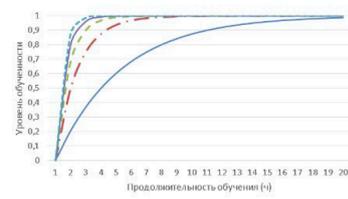
$$l(t_2) = \frac{(\bar{t}^{mn\eta} \bar{t}^{mn\kappa})}{\bar{t}^{mn\eta} + (\bar{t}^{mn\kappa} - \bar{t}^{mn\eta})e^{-y_2 t_2}}$$



- $\bar{t}^{mn\eta} = 0,1; \bar{t}^{mn\kappa} = 1; y_2 = 0,3; t_2 = 1...20$
- · - $\bar{t}^{mn\eta} = 0,1; \bar{t}^{mn\kappa} = 1; y_2 = 0,1; t_2 = 1...20$
- - - $\bar{t}^{mn\eta} = 0,1; \bar{t}^{mn\kappa} = 1; y_2 = 0,9; t_2 = 1...20$
- - - - $\bar{t}^{mn\eta} = 0,1; \bar{t}^{mn\kappa} = 1; y_2 = 0,7; t_2 = 1...20$
- · · · $\bar{t}^{mn\eta} = 0,1; \bar{t}^{mn\kappa} = 1; y_2 = 0,5; t_2 = 1...20$

Рис. 3. Логистическая модель Р. Буша

$$l(t_3) = \bar{t}^{вост\kappa} + (\bar{t}^{вост\eta} - \bar{t}^{вост\kappa})10^{-y_3 t_3}$$



- $\bar{t}^{вост\eta} = 0,1; \bar{t}^{вост\kappa} = 1; y_3 = 0,1; t_3 = 1...20$
- · - $\bar{t}^{вост\eta} = 0,1; \bar{t}^{вост\kappa} = 1; y_3 = 0,3; t_3 = 1...20$
- - - $\bar{t}^{вост\eta} = 0,1; \bar{t}^{вост\kappa} = 1; y_3 = 0,5; t_3 = 1...20$
- - - - $\bar{t}^{вост\eta} = 0,1; \bar{t}^{вост\kappa} = 1; y_3 = 0,7; t_3 = 1...20$
- · · · $\bar{t}^{вост\eta} = 0,1; \bar{t}^{вост\kappa} = 1; y_3 = 0,9; t_3 = 1...20$

Рис. 4. Модель подкрепления К. Халла

Экспоненциальная модель [7].

Если предположить, что скорость изменения уровня обученности пропорциональна величине текущего уровня обученности, учитывая независимость коэффициента пропорциональности от времени.

Представим:

$$\frac{dl(t_1)}{dt_1} = -\gamma l(t_1); \quad (6)$$

где $l(t_1)$ – уровень обученности идентификации.

Решение данного дифференциального уравнения – экспонента представлена выражением

$$l(t_1) = \bar{t}^{ud\kappa} + (\bar{t}^{ud\eta} - \bar{t}^{ud\kappa})e^{-y_1 t_1}; \quad (7)$$

В большинстве математических моделей изменения уровня обученности предполагается, что изменение уровня обученности за единицу времени пропорционально его текущему значению. Если задать коэффициент пропорциональности, то представленное допущение является следствием экспоненциального вида кривой изменения уровня обученности, при этом увеличение скорости изменения уровня обученности сопровождается необходимостью увеличения значения коэффициента рассогласования γ , который определяется различными моделями, как величина знаний, изученных обучающимся за единицу времени.

Модель Р. Буша [7].

Данная модель предполагает изменение уровня обученности на каждом из шагов пропорционально текущему уровню обученности и разности между некими текущим уровнем обученности и конечным. Изменение уровня обученности можно представить в виде дифференциального уравнения Бернулли:

$$\frac{dl(t_2)}{dt_2} = l(t_2)(y - l(t_2)), \quad (8)$$

где y – константа, определяющая скорость изменения уровня обученности,

$l(t_2)$ – уровень обученности по поиску причин.

Взяв за начальную точку $\bar{t}^{mn\eta}$, решением уравнения будет логистическая кривая:

$$l(t_2) = \frac{(\bar{t}^{mn\eta} \bar{t}^{mn\kappa})}{\bar{t}^{mn\eta} + (\bar{t}^{mn\kappa} - \bar{t}^{mn\eta})e^{-y_2 t_2}}; \quad (9)$$

«Тормозящий довесок» позволяет получить логистическую, а не экспоненциальную кривую за счет появления точки перегиба в отличие от рассматриваемой выше модели. Скорость изменения уровня обученности зависит от величины конечного уровня обученности и коэффициента пропорциональности между скоростью изменения уровня обученности и текущим значением обученности, что отличает модель от предыдущей (рис. 3).

Модель К. Халла [7].

Закономерность, по которой формируется навык, основывается на том, что, если внешние условия и цели обучения не изменяются, а подкрепления следуют равномерно, то уровень обученности $l(t_3)$ возрастает вместе с возрастанием числа повторений, что представлено равенством

$$l(t_3) = \bar{t}^{вст\ к} + (\bar{t}^{вост\ н} - \bar{t}^{вост\ к})10^{-y_3 t_3}, \quad (10)$$

где $l(t_3)$ – уровень обученности восстановления работоспособного состояния оборудования.

Применение комплекса моделей позволяет определить зависимость уровня практической обученности эксплуатирующего

персонала, выраженного временем идентификации неисправности, поиска причин ее возникновения и восстановления работоспособного состояния оборудования от времени отведенного на процесс практического обучения в целом и на изучение соответствующих практических навыков в частности.

Заключение

Использование представленных в статье математических моделей обучения в комплексе позволяет провести имитационное моделирование выполнения технологических операций с учетом закономерностей практического и теоретического обучения (рис. 5).

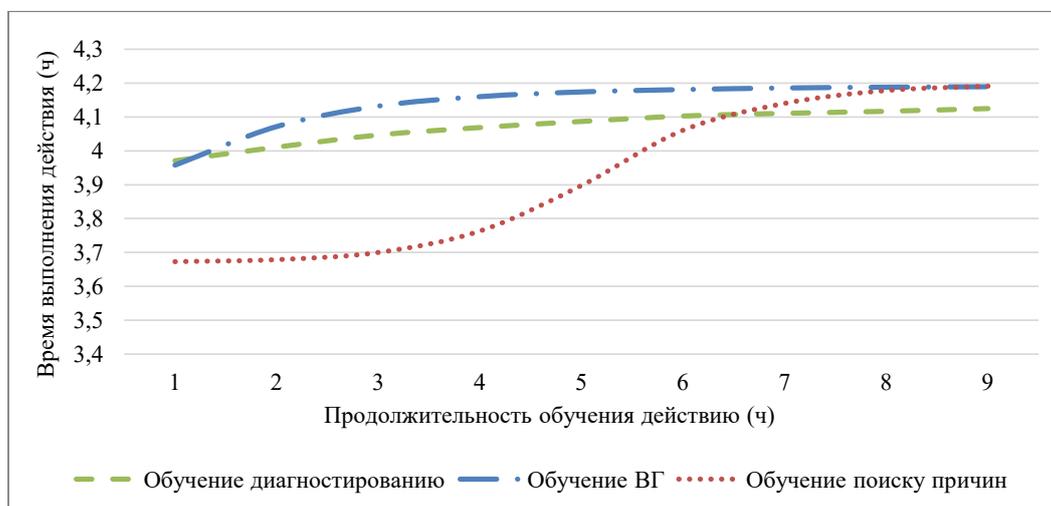


Рис. 5. Закономерности практического обучения

На основе полученных экспериментальных данных методом регрессионного анализа можно определить целевую функцию

$$\bar{t}^{cy} = 0,6 + 0,7e^{-1,2t_1} + e^{-0,6t_2} + \frac{2,25}{2,5 - 1,6e^{-0,1t_3}} + \dots + 0,4 + 0,8e^{-1,6t_1} + e^{-0,8t_2} + \frac{1,1}{2,2 - 1,7e^{-0,15t_3}}$$

где \bar{t}^{cy} – продолжительность выполнения задачи, и прогнозировать оптимальный план обучения эксплуатирующего персонала по критерию максимума вероятности выполнения задачи методом динамического программирования (таблица).

Результаты применения моделей

	$t_{\Sigma}^{об}$	$t^{теор}$	t_1^*	t_2^*	t_3^*	$P_{вс}$
Существующий план	18	9	3	3	3	0,96
С использованием моделей (без изменения $t_{\Sigma}^{об}$)	18	7	4	5	2	0,98
С использованием моделей (с изменением $t_{\Sigma}^{об}$)	24	7	6	8	3	0,995

Полученные при расчетах данные целесообразно использовать с целью уточнения плана обучения, что дает возможность создавать адаптированные по уровню знаний учебные курсы, проводить динамическую корректировку и анализ процесса изучения учебного материала, создавать прогноз времени обучения персонала, опираясь на его уровень обученности.

Список литературы

1. Боровиков И.Г., Вивчарь Р.М., Решетников Д.В. Оценка продолжительности подготовки ракеты космического назначения к пуску средствами имитационного моделирования // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. 2018. С. 196–201.
2. Стручков А.М. Противоречия развития компьютерных учебно-тренировочных средств, предназначенных для обеспечения теоретического обучения // Программные продукты и системы. 2013. № 2. С. 55–60.
3. Боровиков И.Г., Щербина И.С., Вивчарь Р.М., Волков Н.И. Методика использования учебно-тренировочных средств подготовки технологического персонала // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 2. С. 93–99.
4. Дьяков А.Н., Кокарев А.С., Тришункин В.В. Методика обоснования системы поставки запасных частей комплексов вооружения // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2019. Вып. 667. С. 297–308.
5. Сержантова М.В., Ушаков А.В. Конечные цепи Маркова в модельном представлении деятельности человека-оператора в квазистатической функциональной среде // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. № 3. С. 524–532.
6. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. 552 с.
7. Буш Р., Мостеллер Ф. Сравнение восьми моделей // Математические методы в социальных науках : сб. ст.: сокрощ. пер. с англ. / под ред. П.Ф. Лазарсфельда, Н. Генри. М.: Прогресс, 1973. 351 с.