

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАЗЕМНОЙ ПОДГОТОВКИ ПАРАШЮТИСТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМИ СЦЕНАРИЯМИ И РЕАЛИЗАЦИИ В ПЕРСПЕКТИВНОМ ОБЛИКЕ ТРЕНАЖЕРА

THE PROCESS MODELING OF PARATROOPER GROUND TRAINING TO AUTOMATIZE TRAINING SCENARIOS CONTROL AND TO IMPLEMENT THE MODEL IN TRAINING SIMULATORS OF THE FUTURE

V. Abanin
S. Kutovoy
Y. Shlykov

Summary. The problems caused by the shift to planning parachute systems to automatize training process and to implement the model in training simulators of the future are considered. The means of mathematical support of the level of acquiring skills of parachute system control is given.

Keywords: ground training model, cognitive activity modeling, training scenarios control, training simulator, planning parachute system for special purposes.

Абанин Владислав Сергеевич

К.т.н., профессор, Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище
vlad-ac@mail.ru

Кутовой Сергей Степанович

Д.т.н., профессор, Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище
kutovoys@mail.ru

Шлыков Юрий Николаевич

Адъюнкт, Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище
shlikov76@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены проблемные вопросы при переносе системы подготовки специалистов на планирующие парашютные системы для автоматизации обучения и реализации в перспективном облике тренажера.

Предложен путь математического обеспечения системы управления уровнем освоения навыками управления парашютной системой.

Ключевые слова: модель наземной подготовки, когнитивное моделирование деятельности, управление учебными сценариями, тренажер, планирующая парашютная система специального назначения.

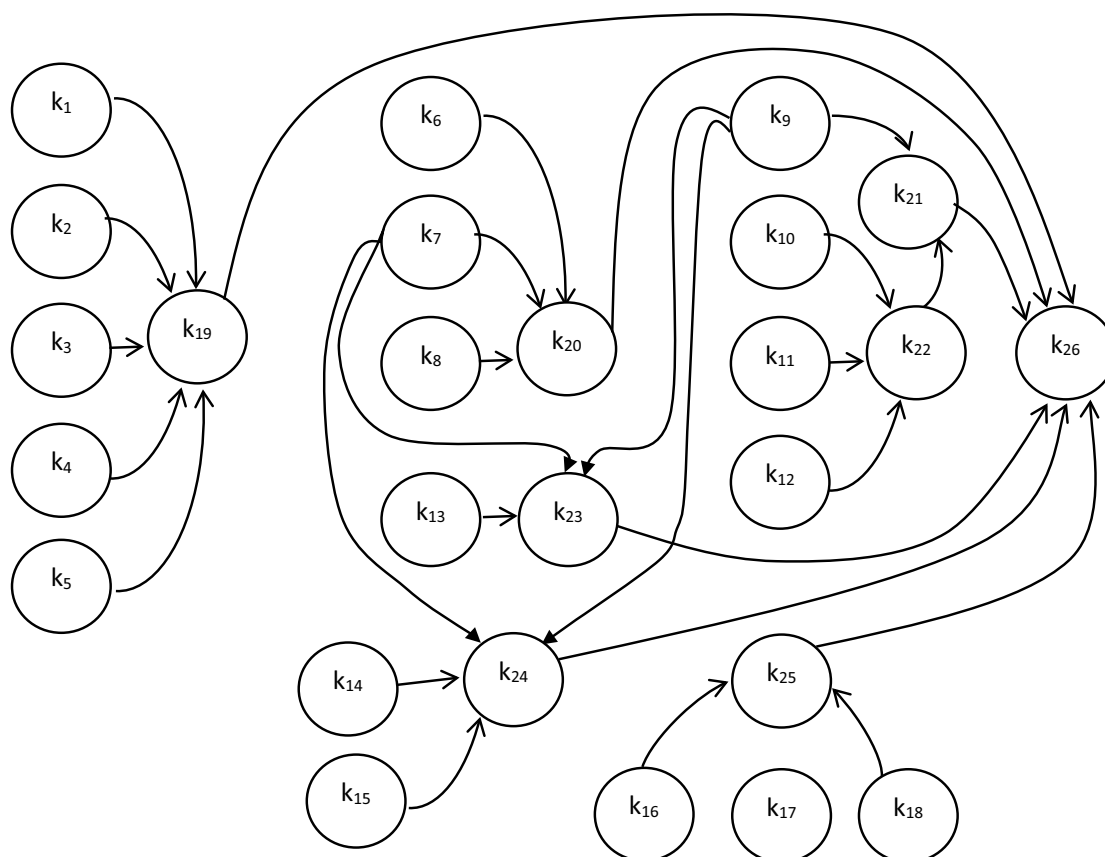
Введение

Представляя процесс подготовки парашютистов (П), осваивающих планирующие парашютные системы специального назначения (ППС СпН), как некую сформировавшуюся педагогическую систему, направленную на достижение цели обучения и принимая во внимание, что целевая предназначенность системы подготовки является ее главным свойством, то для развития этой системы целесообразно ее модель представить в виде делимой и неделимой элементной структуры [1,2]. При решении подобных задач используются различные методы системного подхода и анализа.

Для выявления особенностей формирования группы навыков действий П при управлении ППС СпН и выбора характерных элементов тренажирования выбирался метод математического моделирования — когнитивное моделирование [3]. Когнитивный подход к поддержке принятия решений ориентирован на то, чтобы активизировать интеллектуальные процессы субъекта и помочь

ему зафиксировать свое представление проблемной ситуации в виде формальной модели [4].

В качестве такой модели обычно используется так называемая когнитивная карта ситуации, которая представляет известным субъекту основные законы и закономерности наблюдаемой ситуации в виде ориентированного знакового графа, в котором вершины графа — это факторы (признаки, характеристики ситуации), а дуги между факторами — причинно-следственные связи между факторами [5]. Также возможно представить когнитивную карту в виде множества концептов, отображающих ее объекты или атрибуты, связанные между собой отношениями влияния или причинно-следственными связями. Так, например, нашел широкое применение данный метод моделирования при создании автоматизированных систем планирования эксплуатации вооружения и военной техники [6], системно-информационном анализе факторов, влияющих на уровень боеготовности вооружения боевых машины [7]. В статье описывается процесс создания модели на основе адаптации методов когнитивного моделирования для задач автоматизации



k_1 — принятие исходного положения; k_2 — отделение от летательного аппарата; k_3 — действия по группировке в ходе стабилизированного падения; k_4 — своевременное и правильное выдергивание звена ручного раскрытия; k_5 — своевременное и правильное действия по обеспечению схода устройства рифления; k_6 — своевременные и правильные действия по проверке наполнения и устойчивости купола; k_7 — своевременные и правильные действия при развороте против ветра; k_8 — своевременные и правильные действия по проверке концевого замкового устройства (КЗУ); k_9 — своевременные и правильные действия по определению направления и скорости ветра; k_{10} — своевременные и правильные действия при совершении поворотов и разворотов; k_{11} — своевременные и правильные действия при снижении на стропе управления; k_{12} — своевременные и правильные действия при снижении на свободном конце; k_{13} — своевременные и правильные действия по определению и выходу на точку траверзы; k_{14} — своевременные и правильные действия по определению и выходу в район базовой точки; k_{15} — своевременные и правильные действия по выполнению разворота против ветра в районе базовой точки; k_{16} — своевременные и правильные действия по определению точки (области) начала разгона купола перед приземлением; k_{17} — своевременные и правильные действия точки (области) начала торможения купола; k_{18} — своевременные и правильные действия по втягиванию строп управления при приземлении; k_{19} — подсистема уровня обученности «от отделения от ЛА до окончания схода устройства рифления»; k_{20} — подсистема уровня обученности «проверка работоспособности парашютной системы»; k_{21} — подсистема уровня обученности «пилотирование до исходного района»; k_{22} — подсистема уровня обученности «нахождение в конусе возможностей»; k_{23} — подсистема уровня обученности «пилотирование в исходном районе до траверза»; k_{24} — подсистема уровня обученности «пилотирование от траверза до базовой точки»; k_{25} — подсистема уровня обученности «пилотирование от базовой точки к месту приземления»; k_{26} — уровень обученности «парашютист готов к штатной деятельности» (первоначальной подготовки).

Рис. 1. Граф взаимосвязей концептов при представлении процесса подготовки специалистов на ППС СпН

$W(k_7, k_{19})=0,78$	$W(k_2, k_{19})=0,84$	$W(k_3, k_{19})=0,85$	$W(k_4, k_{19})=0,86$
$W(k_5, k_{19})=0,84$	$W(k_{19}, k_{26})=0,87$	$W(k_6, k_{20})=0,85$	$W(k_7, k_{20})=0,85$
$W(k_8, k_{20})=0,78$	$W(k_{20}, k_{26})=0,9$	$W(k_9, k_{21})=0,76$	$W(k_{10}, k_{22})=0,77$
$W(k_{11}, k_{22})=0,69$	$W(k_{12}, k_{22})=0,61$	$W(k_{22}, k_{21})=0,77$	$W(k_{21}, k_{26})=0,71$
$W(k_{13}, k_{23})=0,67$	$W(k_7, k_{23})=0,70$	$W(k_9, k_{23})=0,69$	$W(k_{23}, k_{26})=0,80$
$W(k_{14}, k_{24})=0,83$	$W(k_{15}, k_{24})=0,93$	$W(k_9, k_{24})=0,78$	$W(k_7, k_{24})=0,78$
$W(k_{16}, k_{25})=0,84$	$W(k_{17}, k_{25})=0,87$	$W(k_{18}, k_{25})=0,86$	$W(k_{25}, k_{26})=0,88$
$W(k_{24}, k_{26})=0,74$			

работы инструктора на рабочем месте перспективного тренажера освоения ППС Сп Н.

Под концептами будем понимать смысловое содержание элементов деятельности П в части выполняемой им профессиональной работы на этапах прыжка от момента отделения от летательного аппарата (ЛА) до приземления.

В качестве механизма выбора перечня концептов использовался анализ разработанных алгоритмы штатной деятельности П. Результаты формального описания концептов представлены рисунке 1.

Дальнейшая работа по выявлению показателей отношения причинности между парами концептов была направлена на составление нечеткой когнитивной карты для работы экспертов. В ходе этой работы, экспертам предлагалось оценить отношение причинности количественно, по дугам и их направлению. Выставлены оценки значимости проверялись на согласованность мнений экспертов. В качестве показателей адекватности использовались коэффициент вариации и общей согласованности мнений экспертов.

В качестве экспертов привлекались специалисты, имеющие более 500 парашютных прыжков на ППС СпН, а также непосредственно участвующие в обучении личного состава, прибывающего для повышения квалификации на учебных сборах по переучиванию на планирующие ПС.

В результате статистической обработки экспертных данных получены следующие значения отношений причинности между парами концептов (см. таблицу выше).

Для моделирования и анализа проблемно-целевых моделей систем на основе нечетких когнитивных карт используется нечеткая матричная регулярная алгебра, в основе которой лежат макситриангулярные операции с нечеткими матрицами [8, 9]. Рассмотрим основные этапы анализа разработанной когнитивной карты.

На первом этапе формируется матрица взаимовлияний и согласований отношений между концептами.

Для определения взаимовлияния концептов формируется нечеткая матрица R размером $2n \times 2n$, элементы которой определяются из исходной когнитивной матрицы W путем замены:

$$\text{Если } W(k_i, k_j) > 0, \text{ то } r_{2i-1, 2j-1} = w(k_i, k_j), r_{2i, 2j} = w(k_i, k_j).$$

Остальные элементы принимают нулевые значения. Процедура транзитивного замыкания R позволяет согласовать отношения взаимовлияния концептов.

Полученный результат состоял из положительных элементов, образованных по правилу:

$$V_{ij} = \max(r_{2i-1, 2j-1}, r_{2i, 2j}).$$

На втором этапе рассчитываются системные показатели, на основании которых можно выполнить расчет интегральных показателей.

Расчет системных показателей выполнен по следующим формулам:

- ◆ консонанс влияния концепта k_i на концепт k_j

$$C_{ij} = \frac{|k_{ij} + \bar{k}_{ij}|}{|k_{ij}| + |\bar{k}_{ij}|}, \tag{1}$$

- ◆ диссонанс влияния концепта k_i на концепт k_j

$$d_{ij} = 1 - C_{ij}, \tag{2}$$

- ◆ взаимный консонанс влияния концептов k_i и k_j

$$\tilde{C}_{ij} = \frac{|(k_{ij} + k_{ji}) + (\bar{k}_{ij} + \bar{k}_{ji})|}{|k_{ij} + k_{ji}| + |\bar{k}_{ij} + \bar{k}_{ji}|}, \tag{3}$$

- ◆ взаимный диссонанс влияния концептов k_i и k_j

Таблица 1. Интегральные показатели концептов

Номер концепта	Консонанс	Диссонанс	Влияние концепта на систему	Номер концепта	Влияние системы на концепт
k_1	0,08	0,23	0,06	k_{19}	0,16
k_2	0,08	0,23	0,06	k_{20}	0,095
k_3	0,08	0,23	0,06	k_{21}	0,149
k_4	0,08	0,23	0,06	k_{22}	0,08
k_5	0,08	0,23	0,06	k_{23}	0,079
k_6	0,08	0,23	0,06	k_{24}	0,128
k_7	0,15	0,15	0,12	k_{25}	0,099
k_8	0,08	0,23	0,06	k_{26}	0,658
k_9	0,15	0,15	0,11		
k_{10}	0,12	0,19	0,07		
k_{11}	0,12	0,19	0,06		
k_{12}	0,12	0,19	0,05		
k_{13}	0,08	0,23	0,05		
k_{14}	0,08	0,23	0,06		
k_{15}	0,08	0,23	0,06		
k_{16}	0,08	0,23	0,06		
k_{17}	0,08	0,23	0,06		
k_{18}	0,08	0,23	0,06		
k_{19}	0,04	0,27	0,03		
k_{20}	0,04	0,27	0,03		
k_{21}	0,08	0,23	0,06		
k_{22}	0,08	0,23	0,05		
k_{23}	0,04	0,27	0,03		
k_{24}	0,04	0,27	0,03		
k_{25}	0,04	0,27	0,03		
k_{26}	0	0,31	0		

$$d_{ij} = 1 - \bar{C}_{ij} \quad (4)$$

♦ воздействие (влияние) концепта k_i на концепт k_j

$$p_{ij} = \text{sign}(k_{ij} + \bar{k}_{ij}) \max(|k_{ij}|, |\bar{k}_{ij}|)$$

для $k_{ij} \neq -\bar{k}_{ij}$ (5)

♦ взаимное положительное влияние концептов k_i и k_j .

$$\bar{p}_{ij} = \bar{p}_{ji} = (k_{ij} S k_{ji}) \quad (6)$$

где S — соответствующая S -норма.

Для полного анализа определены следующие интегральные показатели влияния концептов на систему и системы на концепты:

♦ консонанс влияния i -го концепта на систему

$$\vec{c}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n C_{ij}, \quad (7)$$

♦ диссонанс влияния i -го концепта на систему

$$\vec{D}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}, \quad (8)$$

♦ воздействие i -го концепта на систему

$$\vec{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij}, \quad (9)$$

Таблица 2. Формирование показателей способностей обучаемых по усвоению навыков действий

Оценка за выполненные действия	Величина начисляемого бала	Показатель оценки своевременности действия	Показатель оценки качества действия	Сумма оценок (показатель способностей)
5	0,2	0,1	0,1	0,2
4	0,4	0,2	0,2	0,4
3	0,6	0,3	0,3	0,6
2	1	1	1	2

- ◆ консонанс влияния системы на j -й концепт

$$\bar{C}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{ij}, \quad (10)$$

- ◆ диссонанс влияния системы j -й концепт

$$\bar{D}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij}, \quad (11)$$

- ◆ воздействие системы на j -й концепт

$$\bar{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ij}. \quad (12)$$

Результаты расчета интегральных показателей представлены в таблице 1.

Целью анализа системных показателей нечеткой когнитивной карты является выделение концептов, в наибольшей степени оказывающих влияние на формирование уровня обученности парашютиста к десантированию на ППС Сп Н. Анализ целесообразно проводить отдельно для отдельных групп концептов. Влияние системы целесообразно исследовать по отношению к концептам, характеризующим результаты освоения отдельных навыков.

Сформированная когнитивная карта характеризуется следующими особенностями:

- ◆ отсутствуют отрицательные воздействия концептов друг на друга;
- ◆ концепты разделены на следующие группы: концепты, характеризующие деятельность парашютиста в ходе десантирования из ЛА $k_1 — k_{18}$, концепты — подсистемы группы действий, характерных отдельным этапам прыжка $k_{19} — k_{25}$ (промежуточные результаты освоения совокупностью действий) и концепт, характеризующий целевую функцию k_{25} .

На основании анализа системных показателей установлено, что наибольшее влияние на систему оказывают концепты, характеризующие деятельность парашютиста в ходе десантирования из ЛА $k_1 — k_{18}$.

В группе концептов, характеризующие деятельность парашютиста в ходе десантирования лидирующее место занимают концепты k_7, k_9 . Причем сумма их величин составляет 25% от остальных показателей ($k_1 — k_{18}$) по влиянию на систему.

Группа концептов промежуточные результаты освоения совокупностью действий лидирующее место занимают концепты k_{21}, k_{22} .

В рассмотренной системе когнитивного моделирования учитывается и сложность. Обычно ее выставляют эксперты при оценке этапа деятельности оператора.

В нашем случае это показатель достаточно затруднительно определить, и он существенно различается между мнениями экспертов. Это вызвано тем, что каждый опытный инструктор опирается на анализ успеваемости группы в целом и выделяет наиболее сложные вопросы по среднему обучаемому. Даже наличие этих данных не позволит осуществлять мониторинг успешности подготовки в процессе каждого тренажа.

Поэтому, предлагается подход, позволяющий исключить мнение о сложности формирования навыков действий, высказанных инструкторами и разработать систему корректировки индивидуального плана подготовки в зависимости от результатов учебной деятельности.

Для этого, вводим понятие — показатель способностей обучаемых $C_{об}$ по усвоению навыков действий. Его величина будет находится в диапазоне от 0,2 до 2 условных единиц. Для каждого концепта от $k_1 — k_{18}$ этот показатель имеет абсолютное значение. Это значение будет назначаться в зависимости от успешности выполненного действия. Любая оценка за действие оператора складывается обычно из двух составляющих [10]. Первая составляющая — своевременность действия, вторая — качество действия (таблица 2).

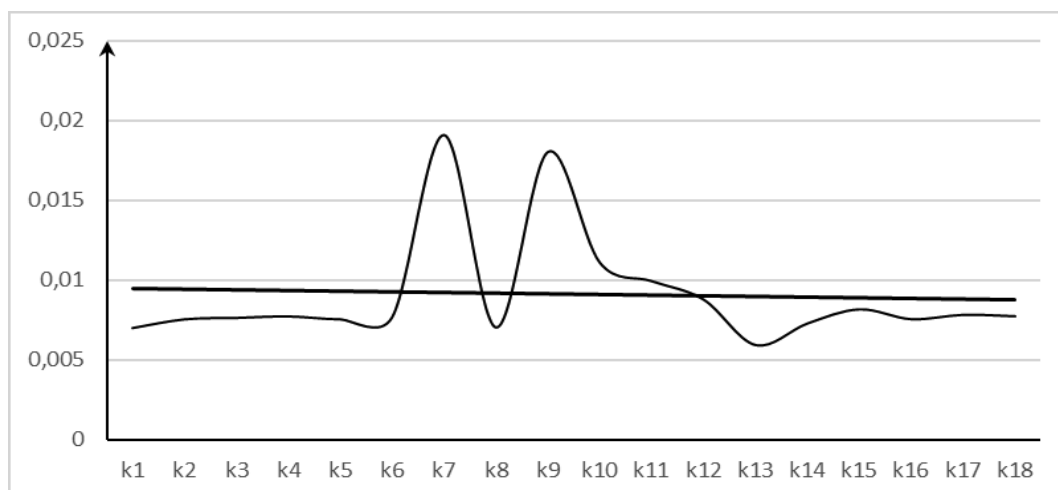


Рис. 2. Отличные оценки по всем обрабатываемым вопросам

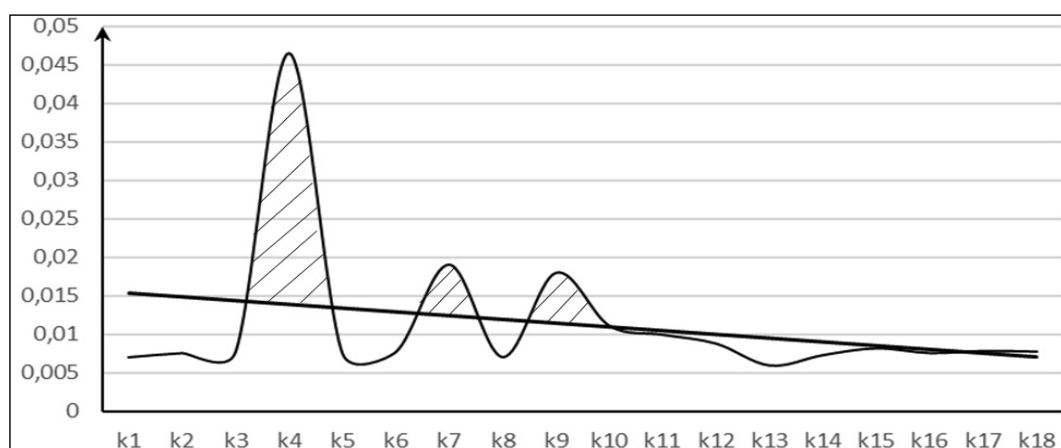


Рис. 3. Влияние полученной неудовлетворительной оценки на систему

То есть, за каждое действие обучаемый оценивается по двум показателям и осуществляется сложение этих составляющих.

Например, при оценивании концепта k_4 — своевременное и правильное выдергивание звена ручного раскрытия (ЗРР), за своевременность действия обучаемый получает оценку «4», а за качество действия «2», так как он не до конца выдернул ЗРР. Сумма оценок будет равна 1,2. Получение неудовлетворительной оценки можно представить в виде графика (при прочих отличных оценках) (рисунок 2, 3).

На рисунке 2 имеют место два экстремума, характерные концептам k_7 и k_9 . Именно эти действия являются самыми сложными в ходе подготовки П при формировании уровня обученности при начальной подготовке.

На графике представлена линия регрессии, имеющая определенный угол наклона к оси абсцисс. После ввода неудовлетворительной оценки графический вид (рисунок 3) терпит изменения. Возникший экстремум на графике показывает, что концепт k_4 влияет на всю систему при этом изменяется и угол наклона линии регрессии к оси абсцисс. Целесообразно вычислять площадь между пересечениями кривых, причем все что выше линии регрессии — (на рисунке 3 показано штрихом) площадь, количественно характеризующая проблемные вопросы в подготовке.

Выводы

Таким образом, сформировавшуюся педагогическую систему подготовки парашютистов на ППС СпН можно представить в виде системы взаимосвязанных концептов с количественной оценкой их влияния друг на дру-

га и на показатель достижения общей цели; в конечном счете это и есть модель системы подготовки.

Математическая обработка базы данных результатов экспертного опроса опытных методистов, осуществляющих подготовку специалистов на ППС СпН, легла в основу разрабатываемой модели наземной подготовки специалистов и позволила выявить наиболее сложно формируемые навыки для первоначального уровня подготовки. К ним относятся навыки действий при развороте против ветра на всех этапах прыжка и определения направления и силы ветра.

Примененный метод оценивания расчетных параметров модели при переборе исходных показателей успешности обучения позволил выявлять как конкретные проблемные вопросы при подготовке, так и общую

тенденцию в динамике формирования навыков парашютиста (по анализу угла наклона линии регрессии к оси абсцисс). Следовательно, можно сформулировать очевидный принцип: при подстановке показателей успешности обучения по каждому конкретному действию в когнитивную модель процесса наземной подготовки специалиста можно количественно определять текущий уровень освоения ППС СпН по выходным показателям концептов и общую тенденцию успешности подготовки; все это позволяет методам эвристического программирования корректировать индивидуальный план подготовки специалиста при реализации представленной модели в облике перспективного тренажера. Представленный принцип можно считать новым для проектирования алгоритмов работы автоматизированной системы обучения применительно к перспективному тренажеру освоения ППС СпН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дли М. И. Локально-аппроксимационные модели социально-экономических систем и процессов / М. И. Дли, В. В. Круглов, М. В. Осокин. — М.: Наука. Физматлит, 2000. — 223 с
2. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний [Текст] / Н. Г. Загоруйко. — Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. — 268
3. Борисов В. В. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем / В. В. Борисов, И. А. Бычков, А. В. Дементьев [и др.]. — М.: Горячая линия — Телеком, 2002 (ГУП Смол. обл. тип. им. В. И. Смирнова). — 153с.
4. Колоденкова, А. Е. Анализ реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем [Текст] / [Колоденкова, А. Е., Коробкин В. В., Рамазанов К. Н.]. — Москва: Инновационное машиностроение, 2018. — 349 с.
5. Робертс, Ф. С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Ф. С. Робертс; Пер. с англ. А. М. Рапполорта, С. И. Травкина; Под ред. А. И. Теймана. — М.: Наука, 1986. — 494с.
6. Заяц Ю. А. Теория и математические методы планирования, эксплуатации вооружения и военной техники с использованием информационных технологий [Текст]: монография / Ю. А. Заяц, Т. М. Заяц; Рязанское высш. воздушно-десантное командное училище (Военный ин-т) им. генерала армии В. Ф. Маргелова. — Рязань: РВВДКУ, 2011. — 101 с
7. Заяц Т. М. Системно-информационный анализ факторов, влияющих на уровень боеготовности вооружения боевой машины [Текст] / Т. М. Заяц, К. А. Слуцкий // Научный резерв. — 2019. — № 2(6). — С. 19–27.
8. Захарова А. С., Глызин А. А. Нечеткое когнитивное моделирование слабо формализуемых систем и процессов [Электронный ресурс] // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 9–3. — С. 511–515; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34877> (дата обращения: 28.09.2019).
9. Коврига С. В. Когнитивная технология стратегического управления развитием сложных социально-экономических объектов в нестабильной внешней среде // Материалы 1-й международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций». М.: ИПУ РАН, октябрь 2001, — с. 104–160.
10. Городишенин, А. Н. Разработка математических моделей оценки действий диспетчера в особых случаях на воздушных трассах на основе результатов тренажерных испытаний / Алексей Николаевич Городишенин //: диссертация ... кандидата технических наук: 05.22.13. — Санкт-Петербург, 2002. — 155 с

© Абанин Владислав Сергеевич (vlad-ac@mail.ru),

Кутовой Сергей Степанович (kutovoyss@mail.ru), Шлыков Юрий Николаевич (shlikov76@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»