

На правах рукописи



КЕМАЛОВ Берик Каирович

**РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННЫХ СРЕДСТВ
ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В СИСТЕМАХ МАШИННОГО
ОБУЧЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ**

Специальность 05.13.17 – теоретические основы информатики

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

ПЕНЗА – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия» на кафедре «Информационные технологии и системы».

Научный руководитель - кандидат технических наук
Дмитриенко Алексей Геннадиевич

Официальные оппоненты: **Рыжак Виктор Васильевич**,
доктор технических наук, профессор,
Заслуженный деятель науки РФ, ФГБОУ
ВПО «Пензенская государственная
технологическая академия», заведующий
кафедрой «Техническое управление качеством»;

Пушкин Валерий Александрович,
кандидат технических наук, доцент,
ОАО «Радиозавод», г. Пенза, заместитель
начальника научно-технического центра
по науке.

Ведущая организация -

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный
аэрокосмический университет им. С.П. Королева
(национальный исследовательский
университет)», г. Самара.

Защита состоится 02 мая 2012 года в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 212.337.01 при Пензенской государственной технологической академии по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а/11.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия».

Автореферат разослан 30 марта 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Чулков Валерий Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Научно-технический прогресс современного общества базируется на развитии информационных технологий, для которого в настоящее время характерен фундаментальный переход от обработки данных к работе со знаниями, к совершенствованию методов машинного обучения и обнаружения новых знаний.

Благосостояние государства во многом зависит от уровня подготовки национальных кадров, в том числе и в специальных областях. Поддержание на должном уровне состояния воздушного флота определяется не только эксплуатационными возможностями авиации, но и уровнем подготовленности авиаспециалистов. Надежность работы летного состава, высокая квалификация обслуживающего персонала являются основой успешного функционирования авиации.

Развитие мировой авиации сопровождается проявлением ряда факторов, меняющих взгляды на роль и место технических средств (тренажерных систем) в профессиональной подготовке авиационных специалистов, на их функциональный состав, внешнюю конфигурацию и порядок применения. В условиях ограниченного ресурсного и финансового обеспечения целесообразно вложение средств в направления, наиболее существенно влияющие на общую готовность летного и наземного персонала, такие как оперативно-тактическое, структурно-организационное, инженерно-техническое, учебно-методическое обеспечение их подготовки. В работе поставлена задача поддержания высокого уровня подготовки авиационных специалистов в учебно-методическом направлении, решение которой может быть обеспечено развитием методов работы со знаниями, методов машинного обучения и обнаружения новых знаний, созданием и обеспечением функционирования интегрированных средств представления знаний в специализированных вычислительных системах подготовки авиационных специалистов.

Комплексная система средств подготовки летного состава представляет собой совокупность трех основных составляющих: комплекта средств методического обеспечения, системы средств технического обеспечения, а также системы информационно-программного обеспечения. Под системой средств методического обеспечения понимается совокупность организационных мероприятий для проведения подготовки летного состава, методик проведения, планирования и учета этапов подготовки летного состава. Система технического обеспечения представляет собой совокупность аппаратных средств летной и наземной подготовки, в том числе компьютерных систем обучения. Программное обеспечение включает в себя операционные системы, пакеты прикладных программ и интерфейсное обслуживание, позволяющее организовать эффективную обратную связь в системе комплексной подготовки авиационных специалистов. В настоящее время задачи преобразования информации в процессе тренажерной подготовки в данные и знания, создание интегрированных средств представления знаний в специализированных вычислительных системах подготовки авиационных специалистов, методики машинного обучения недостаточно разработаны.

В связи с этим задача обеспечения высокого уровня подготовки летного состава за счет применения интегрированных средств представления знаний, создания моделей знаний обучаемого и предметной области, методик машинного обучения, принципов построения и функционирования аппаратных и программных средств комплексной системы наземной подготовки авиационных специалистов является **актуальной**.

Объектом исследования является система комплексной наземной подготовки авиационных специалистов, а **предметом** – принципы создания и функционирования аппаратных и программных средств тренажерной подготовки летно-технического состава.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности тренажерной подготовки авиационных специалистов за счет создания интегрированных средств представления знаний в специализированных вычислительных системах и развития методик работы со знаниями, машинного обучения и обнаружения новых знаний.

Задачи исследования:

1. Разработка информационно-структурных моделей специалиста и машинного обучения для организации процесса подготовки авиационного специалиста.
2. Создание интегрированных средств представления знаний в системах машинного обучения авиационных специалистов, объединяющих в совокупности логические модели и методики взаимодействия информационных процессов на базе специализированных вычислительных устройств.
3. Разработка информационно-структурной модели комплексной системы наземной подготовки авиационных специалистов на основе предложенных моделей специалиста и предметной области обучения, как совокупности программно-технических средств автоматизации машинного обучения.
4. Разработка обобщенного алгоритма машинного обучения авиационных специалистов в комплексной системе подготовки летного и инженерно-технического состава.

Методы исследования. Теоретико-методологической основой исследований явились методы теории информации, теории системного анализа, теории математического моделирования систем, теории автоматического управления, теории принятия решений, теории вероятностей и математической статистики, теории оптимизации, теории поэтапного формирования умственных действий и понятий, теории межсистемного взаимодействия.

Научной базой исследования послужили работы Н. Винера, Л. Бриллюэна, А. И. Берга, П. Я. Гальперина, Ю. М. Горского, К. К. Колина, А. А. Красовского, Г. Ш. Мееровича, Н. Н. Моисеева, Д. А. Новикова, Д. А. Поспелова, А. Я. Савельева, М. Саотоме, А. Н. Тихонова, С. М. Федорова, В. Я. Цветкова, А. Д. Урсула и других ученых.

Научная новизна работы:

1. Разработана информационно-структурная модель машинного обучения авиационных специалистов, отличающаяся учетом степени их исходной под-

готовки и позволяющая сформулировать требования к структуре комплексной системы технических средств подготовки.

2. Проведена формализация интегрированных средств представления знаний в системах машинного обучения авиационных специалистов, учитывающая совокупность логических моделей и методик взаимодействия информационных процессов на базе вычислительных средств моделирующей среды, что позволяет определить основные свойства, фазы формирования и декомпозиции компонентов и обеспечить соответствие структуры комплексной системы технических средств подготовки специалистов сертификационным требованиям.

3. Создана информационно-структурная модель специалиста в системе комплексной наземной подготовки, отличающаяся учетом уровня исходных знаний и навыков и позволяющая корректно управлять процессом освоения авиационных систем и целенаправленно решать задачу выработки воздействий на обучаемого с целью доведения имеющегося уровня подготовки до требуемого уровня.

4. Разработан обобщенный алгоритм машинного обучения, отличающийся введением количественной оценки выдерживания параметров процесса обучения с предоставлением инструктору объективной информации о результатах выполнения учебно-тренировочного задания, реализация которого обеспечивает повышение эффективности функционирования системы подготовки авиационных специалистов.

Достоверность и обоснованность результатов. Достоверность научных выводов и результатов диссертации подтверждается их внутренней непротиворечивостью и соответствием теоретическим положениям теории информации, тренажеростроения, системного анализа, а также практической реализацией результатов. Обоснованность результатов базируется на согласованности данных эксперимента и научных выводов.

Практическая значимость работы. Значение полученных теоретических результатов для практики заключается в том, что тренажерный комплекс и его отдельные компоненты впервые предложено рассматривать как единую информационную системно-динамическую модель. Это позволяет унифицировать методы и подходы к машинному обучению и обнаружению новых знаний, обеспечивает разработку научной базы для построения формальных процедур оценивания качества процесса обучения авиационных специалистов. Практическая значимость работы определяется прикладным характером полученных результатов, применение которых позволяет повысить эффективность функционирования аппаратных и программных средств системы наземных технических средств подготовки и обучения авиационных специалистов.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты диссертационного исследования внедрены в производственную деятельность ОАО «Авиаремонтный завод № 406» (Казахстан, г. Актобе). Результаты работы использованы также в учебном процессе кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет» и кафедры «Информационные технологии и системы» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия».

На защиту выносятся:

1. Комплекс интегрированных средств представления знаний в системах машинного обучения авиационных специалистов на основе совокупности логических моделей и методик взаимодействия информационных процессов, позволяющий определить основные свойства, фазы формирования и декомпозиции составляющих.

2. Математическая модель авиационного специалиста, позволяющая создать методику эффективного обучения и освоения авиационных систем и обеспечивающая принятие обоснованных решений по синтезу структуры аппаратных и программных средств подготовки.

3. Модель процесса машинного обучения авиационного специалиста, позволяющая сформулировать требования к структуре аппаратных и программных средств подготовки летного и инженерно-технического составов.

4. Обобщенный алгоритм машинного обучения, обеспечивающий количественную оценку выдерживания параметров процесса обучения с предоставлением инструктору объективной информации о результатах выполнения учебно-тренировочного задания.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: международных симпозиумах “Надежность и качество” (Пенза, 2008, 2009, 2011 гг.); научно-практической конференции “Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий” (Сочи, 2008 г.); научно-практической конференции “Алгоритмы, методы и системы обработки данных” (Владимир, 2009 г.); Международной научно-технической конференции “Современные информационные технологии – 2011” (Пенза, 2011 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 23 работах, в том числе в 3 статьях в журналах из перечня ВАК. Все результаты, составляющие основное содержание диссертации, получены автором самостоятельно. В работы, выполненные в соавторстве, диссертантом внесен основной вклад, заключающийся в постановке задач, разработке методик исследований, решении поставленных задач и формулировании выводов по полученным результатам.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 121 наименований, а также приложения. Работа изложена на 167 страницах основного текста, включающего 28 рисунков.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, показана научная новизна и практическая ценность исследования, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ предметной области исследований и современных технических средств наземной специальной подготовки авиационных специалистов, а также выработаны основные требования к комплексам

технических средств подготовки и обучения с учетом человеческого фактора, определены методы и программы подготовки авиационных специалистов и разработаны требования к структуре программно-технических средств автоматизации машинного обучения.

Все требования к программно-техническим средствам обучения, выполнение которых обеспечивает их высокую эффективность, можно разделить на два класса: требования к адекватности имитации и требования к обучающим ресурсам. Для интенсификации процесса обучения технические средства должны обеспечивать адаптированную к ходу обучения тренировку, возможность анализа процесса обучения и установления степени текущей подготовки авиационных специалистов.

Совокупность факторов технического, экономического и научного характера обусловила формирование тренажерной подготовки как относительно самостоятельного научного направления. Важнейшим условием эффективного применения тренажерной подготовки является наличие методического и программно-технического обеспечения, отвечающего интеллектуальному уровню развития современных тренажерных технологий.

Вторая глава посвящена разработке информационно-структурной модели авиационного специалиста, выбору формальной модели предметной области обучения и структуры информационно-технических средств подготовки и обучения авиационных специалистов.

При разработке модели авиационного специалиста M_o учтено, что она должна обеспечить оценку уровня его подготовки на всех этапах тренировки: на уровне подготовки перед началом тренировки (входная модель специалиста M_{ov}); на уровне подготовки в процессе тренировки (промежуточная модель специалиста M_{op}); на уровне подготовки по окончании тренировки (аттестационная модель специалиста M_{oa}). Исходя из этого, определяющий модель специалиста кортеж представлен в виде

$$M_o = \langle M_{ov}, M_{op}, M_{oa} \rangle. \quad (1)$$

Задача обучения является по существу задачей управления. Применительно к задачам обучения процесс управления сложным динамическим объектом должен рассматриваться как адаптивный процесс, поскольку адаптация необходима для коррекции модели объекта в процессе обучения. Решение задачи создания формальной адаптивной системы обучения требует, прежде всего, разработки (или выбора) модели обучения. Проведено сравнение различных моделей обучения, в том числе и стохастических.

Общим для всех моделей является то, что математическая модель субъекта обучения рассматривается в виде автомата, на вход которого на каждом шаге обучения подается обучающая информация, описываемая множеством

$$I_n = \{K_1, K_2, \dots, K_N\}; K_j \in \{1, \dots, N\}, \quad (2)$$

где K_j – номер элемента обучающей информации. Состояние памяти субъекта на n -м шаге обучения описывается вероятностным вектором:

$$P_n = (P_1(n), P_2(n), \dots, P_N(n)), \quad (3)$$

где $P_i(n)$ – вероятность незнания i -го элемента обучающей информации на n -м шаге обучения; $G_i(n) = 1 - P_i(n)$.

Субъект в соответствии с состоянием памяти дает ответы. Соответствие ответов истине определяет реакции субъекта:

$$R_n = \{r_1(n), \dots, r_N(n)\}, \quad (4)$$

где $r_i(n) = \begin{cases} 0, \text{правильный ответ;} \\ 1, \text{неправильный ответ.} \end{cases}$

Эти реакции используются для преобразования вектора

$$P_{n+1} = F(P_n, I_n, R_n, \gamma), \quad (5)$$

где γ – вектор параметров обученного, а правило преобразования является моделью обучения.

Алгоритм обучения состоит в преобразовании состояния памяти субъекта и в подготовке очередной обучающей информации. Исходя из правильности выполнения действий по алгоритму, ответы обучаемого используются для адаптации (преобразования) вектора P_n (состояние памяти обучаемого)

$$P_{n+1} = F(P_n, I_n, R_n, \gamma), \quad (6)$$

где γ – вектор параметров обучаемого, который характеризует не только индивидуальные особенности памяти обучаемого, но и его практический опыт. Правило преобразования F считается моделью обучения.

Критерий качества обучения формируется в виде

$$Q_n = \sum_{i=1}^N P_i(t_i^n) q_i, \quad (7)$$

где q_i – частота появления i -го опорного элемента знаний в практической рабо-

те обучаемого, при этом $(0 < q_i < 1, \sum_{i=1}^N q_i = 1)$. Цель обучения состоит в мини-

мизации критерия качества (7), который вычисляется на каждом сеансе обучения. Процесс обучения заканчивается, когда $Q_n \leq \sigma$, где $\sigma > 0$ – заданный уровень приобретенных знаний.

Данная модель позволяет: учитывать важное свойство человеческой памяти – уменьшение скорости забывания по мере повторения; учитывать практический опыт обучаемого, полученный до начала обучения; выбирать произвольно промежутки времени между сеансами обучения; учитывать неполноту обучающей информации на каждом сеансе обучения.

Технические средства подготовки и обучения необходимо разрабатывать как единый автоматизированный комплекс подготовки авиационных специалистов, включающий в себя интерактивные обучающие системы, тренажеры, системы объективного контроля, интерактивную электронную документацию и другие программно-технические средства. В работе предложена комплексная система подготовки и обучения авиационных специалистов, позволяющая формировать интеллектуальную составляющую навыка профессиональной деятельности (учебные компьютерные классы с программным обеспечением) и обеспечивающая летную, тактическую, штурманскую и инженерно-техническую подготовку.

В третьей главе рассматриваются вопросы создания интегрированных средств представления знаний в системах машинного обучения авиационных специалистов на основе совокупности логических моделей и методик взаимодействия информационных процессов, что позволяет определить основные свойства, фазы формирования и декомпозиции компонентов на основе концепции соответствия структуры комплексной системы технических средств подготовки сертификационным требованиям.

Сложный системотехнический объект моделирования, каким является комплекс пилотирования летательного аппарата, определяет состав и структуру моделей, на базе которых должны быть построены моделирующие системы. Такие системы должны имитировать полную информационную обстановку полета и обеспечивать иллюзию реальности полета и функционирования систем бортового оборудования в реальном масштабе времени. Наряду с этим, каждая модель как составная часть тренажера должна соответствовать определенным методическим требованиям, иметь минимальную стоимость и обладать эксплуатационной пригодностью. Такой перечень противоречивых требований на практике бывает трудно реализовать в рамках одной модели без определенного компромисса между простотой исходного математического описания, стоимостью модели и полнотой воспроизводимых ею информационных и динамических характеристик моделируемого объекта.

В этой связи выбор рационального состава аппаратных и программных средств и обоснование оптимальной структуры моделирующих систем тренажера должны осуществляться в соответствии с заданными требованиями. Решение такого класса задач значительно упрощается с привлечением имитационного моделирования, которое позволяет создавать различные комбинации моделирующих систем в соответствии с заданным перечнем показателей качества и эффективности.

Все вышесказанное обусловило введение понятия **моделирующей среды**, которое необходимо для разработки математических моделей технических средств обучения с учетом их методических и эксплуатационных показателей качества и эффективности.

Под моделирующей средой (МС) будем понимать объединение агрегатов, которое описывается выражением

$$MC = \bigcup_{i=1}^n \langle T, X_i^N, Y_i^M, S_i(K), W_i, B_i \rangle, \quad (8)$$

где X_i^N – пространство входных сигналов; Y_i^M – пространство выходных сигналов; S_i – состояние моделирующей среды; W_i – операторы выходов; B_i – операторы переходов; K – качество технического исполнения агрегата.

Анализ природы переменных моделирующей среды показывает, что моделирующую среду по способу представления переменных, перерабатываемой информации моделирующей среды и методов построения моделей можно подразделить на две обобщенные области:

- непрерывную область моделирующей среды;
- дискретную область моделирующей среды.

В каждую область могут входить как физические, так и математические модели, которые оперируют параметрами непрерывного либо дискретного представления информации. Природа исходных элементов областей моделирующей среды определяет и методы построения конкретных агрегатов.

С учетом возможности технической реализации моделирующую среду тренажера в общем случае предложено описывать следующей математической зависимостью:

$$MC = \langle X \subseteq X^n, Y \subseteq Y^m, Z \subseteq Z^k, G, H, (\lambda, f) \rangle, \quad (9)$$

где (λ, f) – группа показателей качества и эффективности. Техническая реализация моделирующей среды (9) может быть различной и определяется большим числом факторов технологического, конструкторского, эксплуатационного, экономического, информационно-программного характера. Если рассматривать моделирующую среду как единое, неделимое в конструктивном отношении изделие, то это может быть выполнено только на основе специализированной вычислительной и моделирующей техники, каждая составная часть которой самостоятельно функционировать не может. Такой подход к построению технических средств обучения имеет целый ряд существенных недостатков, которые ограничивают его применение в практике промышленных предприятий последних лет.

Наиболее перспективной представляется методика построения моделирующей среды технических средств обучения как совокупности самостоятельных, автономных и полных в функциональном отношении изделий (имитаторов), которые, будучи объединенными в систему, образуют тренажер с требуемыми показателями качества $\langle \lambda, f \rangle$. Для этого случая выражение (9) может быть переписано в виде

$$MC = \bigcup_{j=1}^n \langle X \subseteq X^N, Y \subseteq Y^M, Z \subseteq Z^K, G_j, H_j, (\lambda, f) \rangle. \quad (10)$$

В соответствии с уравнением (10) моделирующая среда тренажера рассматривается как конечное или счетное объединение изделий или имитаторов,

число которых равно n . Каждую такую автономную часть моделирующей среды можно считать самостоятельным агрегатом, который выполняет возложенные на него функции. Агрегатирование, наряду с декомпозицией составных частей моделирующей среды, является одним из основных приемов построения сложной структуры тренажера.

В соответствии с изложенными теоретическими положениями разработана система интегрированных средств представления знаний в системах машинного обучения авиационных специалистов на основе совокупности логических моделей и методик взаимодействия информационных процессов. Указанная система позволяет определить основные свойства, фазы формирования и декомпозиции компонентов с учетом соответствия структуры комплексной системы технических средств подготовки сертификационным требованиям. Система должна отвечать современным требованиям и обеспечивать необходимую полноту и точность моделирования динамики летательного аппарата.

Четвертая глава посвящена разработке обобщенного алгоритма подготовки авиационных специалистов, основанного на методике оценивания профессиональных навыков авиационных специалистов, а также на формализованном представлении задач оценивания и диагностики для участков элементов упражнения.

Важной особенностью средств наземной подготовки является то, что летчик и инструктор взаимодействуют не с реальным объектом управления, а с его моделью и моделью среды, в которой обычно происходит полет реального летательного аппарата. Оценивание действий обучаемого летчика является обязательным условием реализации как внутренней, так и внешней обратных связей контура управления.

Оценивание упражнения связано с решением двух групп подзадач. К первой группе относятся подзадачи, связанные с выбором критериев оценивания. Ко второй группе относятся подзадачи, связанные с непосредственной реализацией оценивания пилотирования, то есть с проведением необходимых вычислений. Необходимость автоматизации решения подзадач данной группы доказана многочисленными теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Оценка качества деятельности обучаемых осуществляется инструктором на основе данных контроля тренировки. Информационной основой для оценки деятельности служат записи, сделанные инструктором, его личные впечатления. Результаты работы системы оценки и контроля деятельности обучаемого выводятся на экран дисплея и используются как основной материал для общей оценки, формируемой инструктором. Оценка качества деятельности зависит как от квалификации и опыта инструктора, так и от методических и технических возможностей применяемой системы машинного обучения и объективного контроля качества обучения.

Инструкторская часть (ИЧ) как система автоматического оценивания, может быть представлена конечным автоматом, описываемым динамическим представлением следующего вида:

$$S = (U_{\text{И}}, Y_{\text{И}}, X_{\text{И}}, F_{\text{И}}, A_{\text{И}}, \Phi_{\text{И}}), \quad (11)$$

где $U_{\text{И}}$ – входной алфавит ИЧ системы “инструктор – тренажер – летчик” (СИТЛ); $Y_{\text{И}}$ – выходной алфавит ИЧ СИТЛ; $X_{\text{И}}$ – пространство состояний ИЧ СИТЛ; $F_{\text{И}}$ – семейство отображений “вход – выход”, определенное в пространстве состояний ИЧ СИТЛ; $A_{\text{И}}$ – множество, индексирующее семейство отображений $F_{\text{И}}$; $\Phi_{\text{И}}$ – семейство отображений конструирования пространства состояний ИЧ СИТЛ.

Входной алфавит ИЧ СИТЛ ($U_{\text{И}}$) описывает множество формальных отношений (МФО), отражающих входы СИТЛ $U_{\text{И}}^S$, а также выходы эргатической $U_{\text{И}}^3$ и моделирующей $U_{\text{И}}^M$ частей,

$$U_{\text{И}}^S \times U_{\text{И}}^3 \times U_{\text{И}}^M = U_{\text{И}}^M \mid U_{\text{И}}^S \subset U_S; U_{\text{И}}^3 \subset Y_3, U_{\text{И}}^M \subset Y_M. \quad (12)$$

Выходной алфавит ИЧ СИТЛ ($Y_{\text{И}}$) описывает МФО, отражающее выходы СИТЛ:

$$Y_{\text{И}} \subset Y_S. \quad (13)$$

Особый интерес представляет рассмотрение состояния ИЧ СИТЛ как конечного автомата. С ним в теории систем связывают следующий набор компонентов описания:

– семейство функций $F_{\text{И}}$, осуществляющих преобразования “вход – выход”:

$$F_{\text{И}} = (\phi_{\alpha_{\text{И}}} : U_{\text{И}}^3 \times U_{\text{И}}^M \rightarrow Y_{\text{И}}). \quad (14)$$

– множество индексируемых параметров $\alpha_{\text{И}}$ ($\alpha_{\text{И}} \in A_{\text{И}}$), при помощи которых пронумерованы компоненты семейства функций, осуществляющих преобразование “вход – выход” конечного автомата. Индексирующие параметры $\alpha_{\text{И}}$ удовлетворяют следующим условиям:

$$\begin{aligned} (\alpha_{\text{И}}^i \neq \alpha_{\text{И}}^j) &\Rightarrow (Y_{\text{И}}^i \neq Y_{\text{И}}^j); \\ \alpha_{\text{И}}^i &\in A_{\text{И}}; \alpha_{\text{И}}^j \in A_{\text{И}}; U_{\text{И}}^i = U_{\text{И}}^j; \\ Y_{\text{И}}^i &= \phi_{\alpha_{\text{И}}^i}(U_{\text{И}}^i); Y_{\text{И}}^j = \phi_{\alpha_{\text{И}}^j}(U_{\text{И}}^j). \end{aligned} \quad (15)$$

Пространство состояний ИЧ СИТЛ $X_{\text{И}}$ определяется множеством индексирующих параметров тех компонентов семейства функций (16), которые осуществляют необходимые в данный момент преобразования, то есть

$$X_{\text{И}} = \bigcup_{\tau \in T} X_{\text{И}}^{\tau}, \quad X_{\text{И}}^{\tau} = \{\alpha_{\text{И}}\}. \quad (16)$$

Под термином “конструирование пространства состояний” далее понимается формирование множества $X_{\text{И}}^{\tau}$. Конструирование пространства состояний ИЧ СИТЛ осуществляет семейство функций $F_{\text{И}}$:

$$F_{\text{И}} = (F : U_{\text{И}}^S \times A_{\text{И}} \times T \rightarrow X_{\text{И}}^{\tau}). \quad (17)$$

Таким образом, выражения (11) – (17) представляют собой строгое формализованное описание состояния ИЧ СИТЛ.

Согласно современным представлениям о целевой деятельности летчика в контуре управления летательного аппарата, обобщенную структуру исходных данных о любом упражнении, обрабатываемом на авиатренажере, с позиций общей теории систем можно описать следующим соотношением:

$$U_{\text{И}}^{\text{С}} = U_{\text{И}}^{\text{упр}} \times U_{\text{И}}^{\text{эл}} \times U_{\text{И}}^{\text{уч}} \times U_{\text{И}}^{\text{оп}}, \quad (18)$$

где $U_{\text{И}}^{\text{упр}}$ – МФО, характеризующие упражнение в целом; $U_{\text{И}}^{\text{эл}}$ – МФО, характеризующие элементы упражнения; $U_{\text{И}}^{\text{уч}}$ – МФО, характеризующие участки элементов; $U_{\text{И}}^{\text{оп}}$ – МФО, характеризующие параметры, оцениваемые на участках элементов упражнения.

Результат оценивания упражнения в целом определяется содержимым кортежей $C_{\text{упр}}$ и НУПР (невыполненные упражнения):

$$C_{\text{упр}} \leftrightarrow \langle I_{\text{упр}} C_{\text{упр}}^{I_{\text{упр}}} \rangle; \text{ НУПР} \leftrightarrow \langle \text{НУПР} I | I_{\text{упр}} = \overline{1, N_{\text{упр}}} \rangle, \quad (19)$$

где $I_{\text{упр}}$ – номер обрабатываемого упражнения; $C_{\text{упр}}^{I_{\text{упр}}}$ – оценка результатов выполнения летчиком упражнения с номером $I_{\text{упр}}$ ($C_{\text{упр}}^{I_{\text{упр}}} \in \mathbb{R}$), где R – число элементов упражнения.

Задачу оценивания $J_{\text{эл}}$ -го элемента целого решают функциональные модули $F_{\text{ос}}$, реализующие, в соответствии с применяемым критерием оценивания, агрегатирование значений кортежа оценок $C_{\text{эл}}^{J_{\text{эл}}}$:

$$F_{\text{ос}} \leftrightarrow \left\{ C_{\text{оп}} \rightarrow C_{\text{эл}}^{J_{\text{эл}}} \mid C_{\text{эл}}^{J_{\text{эл}}} \in \mathbb{R}, a_{j'} \in A_{\text{ос}} \right\}. \quad (20)$$

Характер изменения значений оцениваемого параметра, приводящего к снижению $C_{\text{оп}J_{\text{оп}}}^{J_{\text{эл}}}$, отражается содержимым кортежа ОПАР (совокупность значений оцениваемых параметров, приводящих к снижению оценок):

$$\text{ОПАР} \leftrightarrow \left\langle (\text{ПАР})_{J_{\text{оп}}}^{J_{\text{эл}}} \mid J_{\text{оп}} = \overline{1, N_{\text{оп}}}^{J_{\text{эл}}} \right\rangle, \quad (21)$$

где $(\text{ПАР})_{J_{\text{оп}}}^{J_{\text{эл}}}$ – формализованное описание изменений значений $J_{\text{оп}}$ -го оцениваемого параметра, приведшего к снижению $C_{\text{оп}J_{\text{оп}}}^{J_{\text{эл}}}$.

Обобщенный алгоритм машинного обучения представлен на рисунке 1.

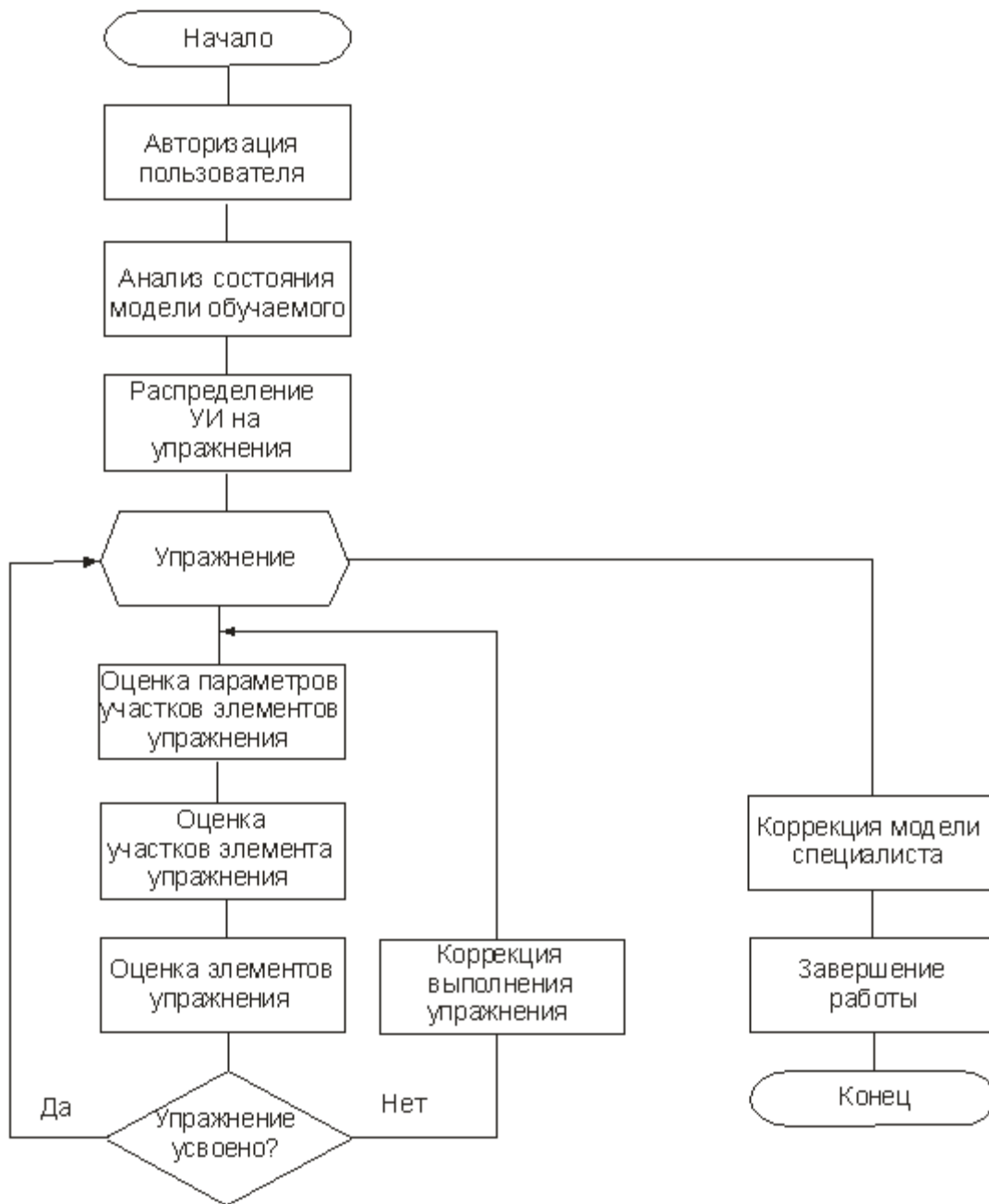


Рисунок 1 – Схема обобщенного алгоритма подготовки авиационных специалистов

Таким образом, схема обобщенного алгоритма подготовки авиационных специалистов показывает возможность адаптации системы к индивидуальным особенностям подготовки специалиста.

Согласно принятой методологии последовательность тематических блоков учебной информации (УИ) зависит от их сложности упражнений, определяемых этапом подготовки специалиста. Каждому тематическому блоку УИ ставится в соответствие набор теоретических знаний и практических навыков и умений.

На рисунке 2 представлен вид дисплейных страниц.

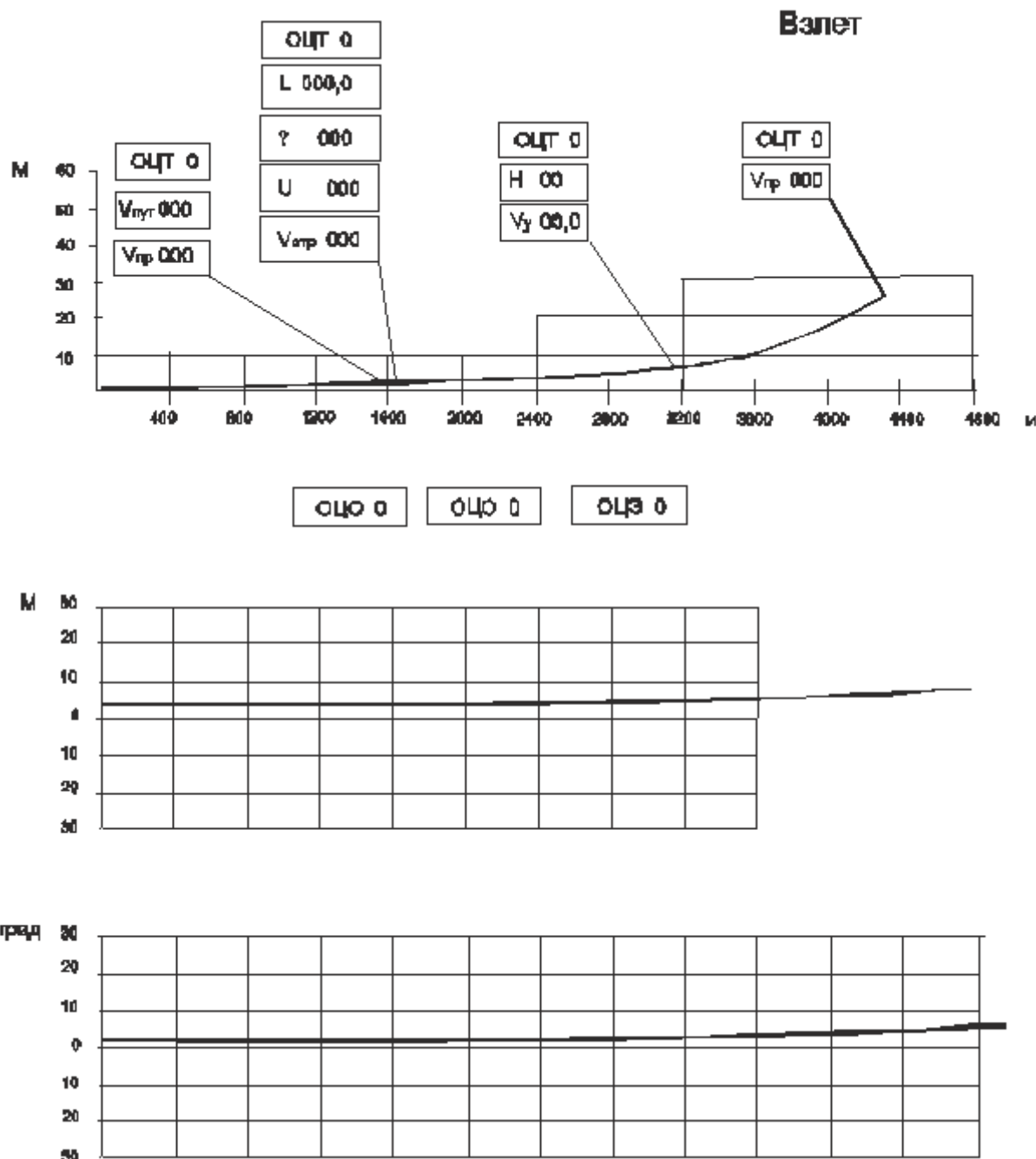


Рисунок 2 – Контроль операции “взлет”

Рисунок 2 иллюстрирует возможность осуществления контроля отдельных параметров полёта по информации, выводимой на экран видеотерминала.

Таким образом, разработанный алгоритм и методики машинного обучения авиационных специалистов отличаются возможностью координации человеко-машинных ресурсов и позволяют повысить объективность оценки уровня подготовки авиационных специалистов.

Апробация разработанных методик и рекомендаций позволила повысить эффективность наземной подготовки авиационных специалистов за счет машинного обучения и обнаружения новых знаний, а также сократить время обучения на 10 – 15%.

В заключении сформулированы основные теоретические и практические результаты работы.

В приложении представлены документы, подтверждающие внедрение результатов работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Цель диссертационной работы, заключающаяся в повышении эффективности наземной (тренажерной) подготовки авиационных специалистов за счет развития методик работы со знаниями, машинного обучения и обнаружения новых знаний, а также создания и функционирования комплекса аппаратных и программных средств автоматизации подготовки авиационных специалистов, достигнута в процессе решения поставленных научных задач.

Результаты работы состоят в следующем.

1. Разработана информационно-структурная модель специалиста, позволяющая эффективно управлять процессом освоения авиационной техники за счет принятия обоснованных решений по синтезу структуры комплексной системы технических средств подготовки. Предложенная модель обеспечивает ведение процесса освоения авиационных систем с учетом уровня специальной подготовки обучаемых.

2. Создана информационно-структурная модель машинного обучения авиационного специалиста, позволяющая сформулировать требования к структуре комплексной системы технических средств подготовки авиационных специалистов.

3. Разработана система интегрированных средств представления знаний в системах машинного обучения авиационных специалистов на основе совокупности логических моделей и методик взаимодействия информационных процессов, позволяющая определить основные свойства, фазы формирования и декомпозиции составляющих и обеспечивающая соответствие структуры комплексной системы технических средств подготовки сертификационным требованиям.

4. Разработана информационно-структурная модель комплексной системы наземной подготовки авиационных специалистов на основе предложенных моделей специалиста и предметной области обучения, как совокупности программно-технических средств автоматизации машинного обучения.

5. Создан основанный на разработанных моделях обобщенный алгоритм машинного обучения авиационных специалистов в системе подготовки летного и инженерно-технического состава, ориентированный на усиление интеллектуальной составляющей навыка профессиональной деятельности. Алгоритм обеспечивает координацию взаимодействия человеко-машинных ресурсов и выработку управляющих воздействий на обучаемого с целью повышения эффективности функционирования системы машинного обучения за счет введения количественных показателей выдерживания параметров процесса обучения с предоставлением инструктору объективной информации о результатах выполнения учебно-тренировочного задания.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Кемалов, Б. К. Неклассические функционалы и принцип минимума функционала обобщенной работы / А. А. Гущина, Б. К. Кемалов, Э. В. Лапшин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 1 (9). – С. 142 – 150.

2. Кемалов, Б. К. Синтез системы управления интеллектуальной компьютерной обучающей системой / А. В. Затылкин, Б. К. Кемалов, Н. К. Юрков // Новые промышленные технологии : Сб. науч. ст. – Вып. 2. – Москва, 2011. – С. 58 – 61.

3. Кемалов, Б. К. Обеспечение комплексной адекватности авиационных тренажеров / А. И. Годунов, Б. К. Кемалов, Н.К.Юрков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 3 (19). – С. 15 – 24.

Публикации в других изданиях

4. Кемалов, Б. К. Метод организации структуры автоматизированной системы оценки качества пилотирования / А. Г. Дмитриенко, А. И. Годунов, Б. К. Кемалов // XXI век : итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Сер. Технические науки. – Пенза : ПГТА, 2011. – № 04 (04). – С. 79 – 87.

5. Кемалов, Б. К. Интеллектуальная поддержка принятия проектных решений / А. Г. Дмитриенко, Б. К. Кемалов, А. В. Затылкин // XXI век : итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Сер. Технические науки. – Пенза : ПГТА, 2011. – № 04 (04) – С. 117 – 125.

6. Кемалов, Б. К. Принципы создания авиационных тренажеров с распараллеливанием вычислительных процессов / А. А. Гущина, Б. К. Кемалов, Э. В. Лапшин // Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий : Материалы науч.-практ. конф. – Сочи, 2008. – С. 62 – 65.

7. Кемалов, Б. К. Состояние и перспективы развития авиационного тренажёростроения / Б. К. Кемалов, Э. В. Лапшин, С. Н. Строкачук // Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий : Материалы науч.-практ. конф. – Сочи, 2008. – С. 439 – 447.

8. Кемалов, Б. К. Имитатор динамики полёта / А. А. Гущина, Б. К. Кемалов, Э. В. Лапшин, В. А. Коваленко // Надёжность и качество : Тр. Междунар. симпозиума : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2008. – Т. 1. – С. 462 – 465.

9. Кемалов, Б. К. К вопросу о моделировании сложных систем / А. И. Газин, А. А. Гущина, Э. В. Лапшин, Б. К. Кемалов // Надёжность и качество : Тр. Междунар. симпозиума : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – Т. 1. – С. 339 – 340.

10. Кемалов, Б. К. К вопросу об имитационном моделировании / А. А. Гущина, Б. К. Кемалов // Надёжность и качество : Тр. Междунар. Симпозиума : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – Т. 1. – С. 340 – 342 .

11. Кемалов, Б. К. Имитатор высотно-скоростных параметров / Б. К. Кемалов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных : Сб. науч. ст. / под ред. С. С. Садыкова и Д. Е. Андрианова. – Вып. 14. – М. : Центр информационных технологий в природопользовании, 2009. – С. 48 – 53.

12. Кемалов, Б. К. Имитационная модель имитатора полета летательного аппарата / Б. К. Кемалов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных : Сб. науч. ст. / под ред. С. С. Садыкова и Д. Е. Андрианова. – Вып. 14. – М. : Центр информационных технологий в природопользовании, 2009. – С. 54 – 62.

13. Кемалов, Б. К. Прогнозно-оптимизационная модель деятельности оператора / Э. В. Лапшин, Б. К. Кемалов, С. Н. Строкачук // Алгоритмы, методы и системы обработки данных : Сб. науч. ст. / под ред. С. С. Садыкова и Д. Е. Андрианова. – Вып. 14. – М. : Центр информационных технологий в природопользовании, 2009. – С. 76 – 84.

14. Кемалов, Б. К. Математические модели кинематики и динамики движения самолета / Э. В. Лапшин, А. А. Гущина, В. А. Коваленко, Б. К. Кемалов // Цифровые модели в проектировании и производстве РЭС : Межвуз. сб. науч. тр. / под ред. Н. К. Юркова. – Вып. 14. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – С. 163 – 171.

15. Кемалов, Б. К. Алгоритмы спирального прогнозирования / Э. В. Лапшин, А. А. Гущина, С. Н. Строкачук, Б. К. Кемалов // Цифровые модели в проектировании и производстве РЭС : Межвуз. сб. науч. тр. / под ред. Н. К. Юркова. – Вып. 14. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – С. 172 – 179.

16. Кемалов, Б. К. Синтез математической модели имитатора полета / Б. К. Кемалов // Цифровые модели в проектировании и производстве РЭС : Межвуз. сб. науч. тр. / под ред. Н. К. Юркова. – Вып. 15. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2010. – С. 60 – 68.

17. Кемалов, Б. К. Метод формирования массива исходных данных математической модели имитатора полета / Б. К. Кемалов // Цифровые модели в проектировании и производстве РЭС : Межвуз. сб. науч. тр. / под ред. Н. К. Юркова. – Вып. 15. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2010. – С. 69 – 73.

18. Кемалов, Б. К. Инструментальная среда повышения надежности РЭС / Б. К. Кемалов, В. П. Перевертов, Н. К. Юрков // Надежность и качество – 2011 : Тр. Междунар. симпозиума : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. – Т. 2. – С. 192 – 194.

19. Кемалов, Б. К. К вопросу оценки качества функционирования обучающей системы “инструктор – тренажер – летчик” / Б. К. Кемалов // Современные информационные технологии – 2011 : Сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Вып. 13. – Пенза : Изд-во ПГТА, 2011. – С. 176 – 181.

20. Кемалов, Б. К. Моделирование прогнозно-оптимизационной деятельности оператора авиационного тренажера / Б. К. Кемалов, А. Г. Дмитриенко, Н. К. Юрков // Современные информационные технологии – 2011 : Сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Вып. 14. – Пенза : Изд-во ПГТА, 2011. – С. 102 – 109.

21. Кемалов, Б. К. Имитационное моделирование высотно-скоростных параметров авиационного тренажера / Б. К. Кемалов, А. Г. Дмитриенко, А. И. Го-

дунов // Современные информационные технологии – 2011 : Сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Вып. 14. – Пенза : Изд-во ПГТА, 2011. – С. 109 – 113.

22. Кемалов, Б. К. Оценка качества функционирования обучающей системы “инструктор-тренажер-летчик” / Б. К. Кемалов // Современные информационные технологии – 2011 : Сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Вып. 14. – Пенза : Изд-во ПГТА, 2011. – С. 167 – 171.

23. Кемалов, Б. К. Краткий обзор методов имитационного моделирования / Б. К. Кемалов, А. В. Лысенко, И. Д. Граб, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Современные информационные технологии – 2011 : Сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Вып. 14. – Пенза : Изд-во ПГТА, 2011. – С. 171 – 176.

Компьютерная верстка Д.Б. Фатеева, Е.В. Рязановой

Сдано в производство 27.03.12. Формат 60x84 ¹/₁₆
Бумага типогр. №1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Cyr.
Усл. печ. л. 1,1. Уч.-изд. л. 1,2. Заказ № 2150. Тираж 100.

Пензенская государственная технологическая академия.
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1^а/11.