

На правах рукописи

**УГЛЕВ ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**Модели и методы построения систем обучающего  
компьютерного тестирования  
на основе экспертных систем  
с элементами нечёткой логики**

05.13.01 — системный анализ, управление и обработка информации  
(информатика, вычислительная техника и управление)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск — 2009

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

**Научный руководитель:** доктор физ.-мат. наук, профессор,  
**Добронец Борис Станиславович**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Доррер Георгий Алексеевич**  
кандидат технических наук, профессор  
**Вейсов Евгений Алексеевич**

**Ведущая организация:** ГОУ ВПО "Восточно-сибирский технологический университет" (г. Улан-Удэ)

Защита состоится 25 сентября 2009 года в 14:00 на заседании диссертационного совета ДМ 212.099.06 при Сибирском федеральном университете по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. академика Киренского, 26, ауд. УЛК 1-15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского федерального университета по адресу: г. Красноярск, ул. академика Киренского, 26, Г274.

Автореферат разослан «21» августа 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Р. Ю. Царев

## Общая характеристика работы

**Актуальность.** Развитие отраслей информатизации позволило системе массового образования воспользоваться высокотехнологичными достижениями научно-технического прогресса. Концепция массового образования и равных возможностей требуют разработки таких механизмов обучения, которые могут быть эффективно применены не только в системе классического (аудиторного) образования, но и при самостоятельном (дистанционном) обучении. Классик отечественной психологии В.С. Аванесов отмечает: *«В условиях массового образования только адаптивное обучение даёт возможность эффективной практической реализации принципы индивидуализации обучения»*. В связи с этим возникают задачи составления эффективно работающих электронных учебных курсов и разработки соответствующих программных средств, обеспечивающих жизненный цикл процесса образования, в контексте парадигмы личностно-ориентированного подхода. Электронные образовательные ресурсы объединяют учебный материал, методологические образовательные концепции, государственные стандарты, а так же различные тренажеры и системы компьютерного тестирования. От их слаженной работы зависят не только отчётные показатели учебных заведений, практикующих дистанционное обучение, но и квалификация выпускаемых ими специалистов.

Педагогическое компьютерное тестирование, как инструмент оценки уровня усвоения знания, на сегодняшний день широко применяется как в процессе классического, так и в процессе дистанционного обучения. Над методикой его применения для аудиторной формы занятий работали Аванесов В.С., Архангельский С.И., Беспалько В.П., Татур А.О. и многие другие. Преимущества тестового контроля очевидны: достигается массовость контроля, скорость обработки данных, непредвзятость и стандартизация процесса оценивания. Над задачей повышения эффективности автоматизации процесса обучения с привлечением тестового контроля работает достаточно много специалистов, что говорит как об актуальности темы, так и о перспективах её дальнейшего исследования. Среди активных исследований в этой области можно выделить работы Пантелеева Е.Р., Тягуновой Т.Н., Жуковой И.Г., Эрмана Е.А., Ульянова Д.А. и проч.

В условиях реформирования системы образования и разработки новых стандартов обучения (переход к двухуровневой системе высшего профессионального образования), дистанционное обучение стало рассматриваться как неотъемлемая компонента учебного процесса ВУЗа. Разработаны электронные учебные курсы, и обеспечивающее их программное обеспечение. При этом компьютерное тестирование всё чаще применяется для промежуточного и итогового контролей (парадигма итогового тестирования). Но на сколько его потенциал корректно использован при проведении внеаудиторного и индивидуализированного обучения? С одной стороны, существует множество претензий к качеству оценки результатов тестирования, вызванных, в частности, отличием условий классического обучения от условий дистанционного

(например, работы Аванесова В.С. или Рудиницкого И.Д.). С другой стороны, не ставится различие между этими формами обучения как в методиках, так и в программных реализациях систем компьютерного тестирования. Но насколько это адекватно отвечает современным требованиям качества образования? Образовательный и контролирующий этапы в автоматизированных обучающих системах так и остались совершенно изолированными процессами, т.е. механизмы четкой обратной связи отсутствуют! Обычная практика: оценивание знаний по всему учебному курсу без вектора дифференцированных оценок по разделам курса. Такое положение существенно снижает как достоверность результатов тестирований, так и возможность целенаправленного управления процессом обучения (оптимизации траектории индивидуального обучения).

Таким образом, продолжает существовать **народно-хозяйственная проблема** эффективного управления самостоятельным/дистанционным учебным процессом, при использовании электронных учебных курсов и систем компьютерного тестирования, как элементов единого образовательного процесса. Её решение позволит повысить эффективность индивидуального процесса обучения, в условиях дефицита или отсутствия на местах квалифицированных педагогических кадров.

В своём диссертационном исследовании В.С. Аванесов отметил: «*Обучающий потенциал тестовых заданий является огромным, но он практически не исследован*». В связи с этим возникает **научная проблема**, связанная с отсутствием теоретической концепции, формальных моделей, методологической и программной реализаций систем компьютерного тестирования, эффективно интегрированных с автоматизированными обучающими системами, которые бы повысили результативность процесса самостоятельного обучения за счёт оптимизации траектории индивидуального обучения.

**Объектом данного исследования** выбраны процессы управления обучением и компьютерного тестирования.

**Предметом исследования** выступают модели, методы и алгоритмы интеграции процессов контроля и обучения в автоматизированных образовательных системах.

**Цель диссертационной работы:** разработать концептуальный подход к организации компьютерного тестирования при самостоятельном обучении на электронных учебных курсах (обучающее тестирование), модели построения и реализации информационной системы с возможностями выработки близкой к оптимальной стратегии обучения.

Для достижения поставленной цели и подтверждения гипотезы о необходимости развития метода обучающего тестирования необходимо решить **ряда задач:**

- провести системный анализ методов, методик, моделей и программных пакетов компьютерного тестирования, которые применяются для решения задачи оценивания знаний в процессе обучения;

- обосновать необходимость выделения класса «обучающего тестирования» и выявить его сущность, содержание и особенности;
- разработать концептуальную модель обучающего компьютерного тестирования, позволяющую формализовать процессы взаимодействия компьютерных тестов и электронных учебных курсов;
- разработать методологические, математические, модельные и проектные подходы, позволяющие реализовать процесс обучающего тестирования;
- предложить реализацию моделей оценивания, адаптации и индивидуализации в виде экспертных систем;
- разработать прототип программного обеспечения, позволяющего реализовать подход обучающего тестирования;
- провести экспериментальные исследования и подтвердить положения гипотезы об эффективности обучающего компьютерного тестирования при самостоятельном/дистанционном обучении.

**Основная идея диссертации**, заключается в том, что процесс тестирования рассматривается как настраиваемый и управляемый процесс с механизмом нелинейной обратной связи электронного учебного курса и обучаемого. Такой подход позволяет:

- отделить класс обучающего компьютерного тестирования от итогового в рамках педагогических тестов;
- повысить эффективность работы обучаемого с электронными учебными курсами;
- повысить достоверность механизма автоматизированной оценки уровня знаний обучаемого;
- представить опыт работы педагогов - экспертов в виде базы знаний в автоматизированной обучающей системе, реализующие механизмы обучения, оценивания и адаптации.

**Методы исследования**, на которых базируется работа, являются теория систем и системного анализа, инженерия знаний, теория экспертных (продукционных) систем, метод нечёткой логики, семантические сети, теория вероятностей и математическая статистика, а так же тестология и тестометрия.

**Основные результаты, выносимые на защиту:**

- понятие и концептуальная модель обучающего компьютерного тестирования;
- модель автоматизированной обучающей системы, описывающей взаимодействие компонентов «электронный учебный курс» и «обучающее компьютерное тестирование»;
- система комплексного анализа факторов, выраженная в моделях адаптации теста, оценивания результатов тестирования и индивидуализации траектории обучения;
- архитектура и содержание баз знаний, описывающих опыт специалистов-педагогов по рассматриваемым в моделях областям знаний;

- информационная система СиТест, основанная на подходе обучающего компьютерного тестирования и методах искусственного интеллекта (экспертные системы с элементами нечёткой логики и семантические сети).

**Научная новизна** диссертационного исследования заключается в следующем:

- выделен подход к компьютерному тестированию, называемый «обучающим», и введено соответствующее определение;

- обоснованы и приведены в систему положения об обучающем компьютерном тестировании, как инструменте оптимизации траектории учебного процесса;

- разработаны формальные модели процессов адаптации обучающего теста, оценивания его результатов и индивидуализации траектории обучения с электронным учебным курсом в рамках единой автоматизированной обучающей системы;

- представлены перечисленные выше модели в виде баз знаний экспертной системы.

**Теоретическая значимость** работы заключается в следующем:

- уточнён подход к организации и проведению компьютерного тестирования, названный обучающим, как одно из направлений тестологии;

- разработаны оригинальные механизмы адаптации тестовой выборки, оценивания и индивидуализации;

- применены методы искусственного интеллекта (экспертные системы с элементами нечёткой логики) для повышения эффективности автоматизированного учебного процесса и достоверности результатов тестирования.

**Практическая значимость** исследования заключается в повышении эффективности автоматизированного самостоятельного (дистанционного) изучения дисциплин учащимися в вопросах организации учебного курса, проверке знаний и оптимизации траектории обучения в условиях дефицита квалифицированных педагогических кадров.

**Достоверность полученных результатов.** Подтверждением достоверности и обоснованности результатов диссертационной работы служит устойчивый положительный эффект от применения методики обучающего тестирования на ряде учебных дисциплин («Имитационное моделирование экономических процессов»). Следует так же отметить повышение степени адекватности оценки обучающихся тестов.

**Использование результатов диссертации** осуществляется в учебном процессе, на дисциплинах «Имитационное моделирование экономических процессов», «Теория экономических информационных систем» при Хакасском техническом институте – Филиале СФУ (г. Абакан, 2008-2009 гг.), «Информационные системы маркетинга» при Хакасском институте бизнеса (г. Абакан, 2007-2009 гг.). Акты об использовании к диссертации прилагаются.

Основные результаты диссертационного исследования получены лично автором. Авторское право на программный пакет СиТест, ядро экспертного

оценивания (модуль FLM\_modul.pas) и конструктора экспертных систем (FLM\_Builder) подтверждается свидетельствами на регистрацию, под номерами 03524577.01145-01, 02069740.00000-01 99 01 и 03524577.01414-01 соответственно.

**Рекомендации по использованию результатов диссертации.** Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в любых учреждениях среднего, среднего - специального, высшего образования. Методику обучающего компьютерного тестирования особенно эффективно можно применять при решении задач дистанционного обучения, а так же при повышении квалификации или переподготовке работников различных учреждений.

**Апробация результатов диссертации.** Результаты диссертационных исследований представлялись на следующих мероприятиях: Всероссийская научно-практическая конференция «Информационные технологии в образовании и науке» (Москва, 2006 и 2007); VI Международная научная конференция «Наука и образование» (Белово, 2006); V Международная научно-техническая конференция «Информационно-вычислительные технологии и их приложения» (Пенза, 2006); XIII Международная научная конференция «Современные техника и технологии» (Томск, 2007 и 2008); IX Всероссийская (с международным участием) научно - практическая конференция «Теория и практика измерения и мониторинга латентных переменных в образовании и других социально-экономических системах» (Славянск-на-Кубани, 2007); XIII Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы информатизации» (Воронеж, 2008); Международная научно-методическая конференция «Совершенствование технологий обеспечения качества образования» (Омск, 2008); XII Международная научно-техническая конференция «Системный анализ в проектировании и управлении» (Санкт – Петербург, 2008); The fourteenth International Scientific and Practical Conference «Modern Techniques and Technologies» (Томск, 2008); XVI Всероссийский семинар «Нейроинформатика, ее приложения и анализ данных» (Красноярск, 2008); Всероссийская научно-методическая конференция «Повышение качества высшего профессионального образования» (Красноярск, 2008); XII Международная научная конференция «Решетневские чтения» (Красноярск, 2009); VIII Международная научно-техническая конференция «Интерактивные системы: проблемы человеко-компьютерного взаимодействия» (Ульяновск, 2009).

По материалам диссертации **опубликовано** 28 печатных работ из которых 26 статей (из них 3 статьи в периодических изданиях по перечню ВАК), 2 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

**Общая характеристика диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из 142 наименований. Работа изложена на 170 страницах машинописного текста, включая 30 иллюстраций, 6 таблиц, 4 приложения на 11 страницах.

## Содержание работы

**Введение** содержит обоснование актуальности темы, сформулированы основные задачи исследования, кратко изложено содержание работы и перечислены её основные результаты, выносимые на защиту.

**В первой главе** приведён анализ методов оценивания в системах компьютерного тестирования (КТ) для целей обучения. В.С. Аванесов в своей диссертации отмечал: «... можно выделить два подхода к тестированию. Учитывая непосредственное воздействие текущего контроля на качество обучения, второй подход назовём обучающим; тогда первый можно назвать итоговым». Исходя из наличия множества проблем автоматизированной проверки знаний (рассмотрены методологический, технологический, технический, психофизиологический, социальный аспекты), было показано несоответствие подхода итогового компьютерного тестирования для целей задач обучения и самообучения. Как для традиционных, так и для адаптивных методик КТ, включая те, которые используют методы искусственного интеллекта, остаётся актуальна проблема целеполагания.

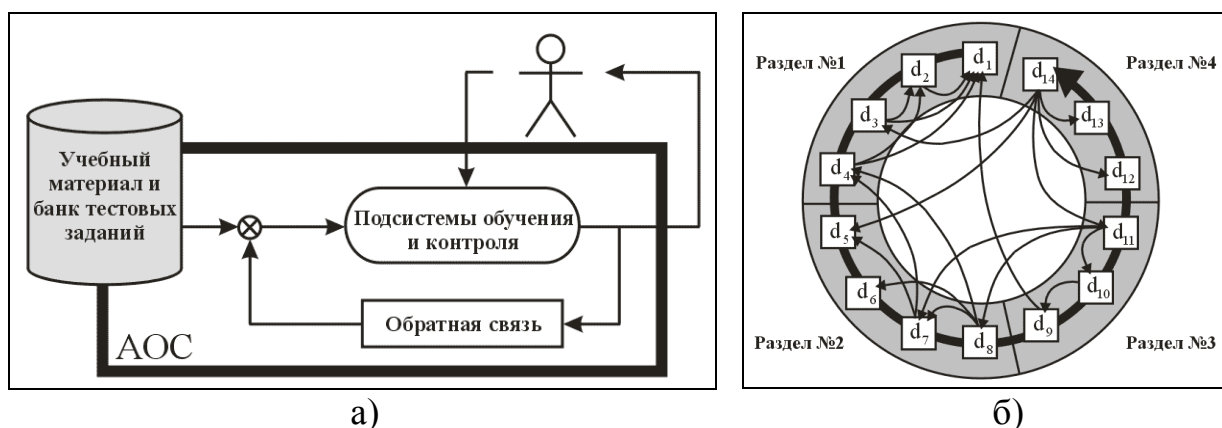


Рисунок 1 – Модель обучения и структуры материала в ЭУК

Согласно методике системного анализа, основной целью работы пользователя с автоматизированной обучающей системой (АОС) является *обучение*, поэтому изолированное рассмотрение системы проверки знаний и электронных учебных курсов (ЭУК) является не эффективным (подкреплено сравнительным анализом систем КТ). Исходя из необходимости пересмотра подходов к организации КТ в дистанционном режиме, в работе было проанализировано понятие *обучающее компьютерное тестирование* (ОКТ) и его понимание современными разработчиками программного обеспечения. К сожалению, проблема обучающего потенциала компьютерных тестов, на сегодняшний момент, серьёзным исследованиям не подвергалась. Отметив одностороннее и ограниченное толкование этого понятия, было предложено собственный вариант его определения: *ОКТ - система КТ, ориентированная на достижение оптимальных показателей обучения для отдельного пользователя посредством функций контроля, адаптации и индивидуализации, а так же интеграции с ЭУК в рамках одной АОС*. При таком рассмотрении ОКТ



возникает задача организации эффективной обратной связи пользователя и АОС (рисунок 1, а). Это обстоятельство требует определённой структуры ЭУК и дополнительных аналитических возможностей со стороны подсистемы ОКТ.

Решение задачи рационального управления учебным процессом за счёт обратной связи требует изначального определения структуры ЭУК, от которой будет также зависеть и структура тестовой выборки и банка тестовых заданий. Представим упрощённую модель структуры дисциплины в виде *двудольного графа* типа дерево, содержащего четыре уровня (рисунок 1, б): уровень дисциплин  $K$ , разделов  $R$ , дидактических единиц  $D$ , терминов и ТЗ -  $T$ . Тогда структура ЭУК  $Z$  представляется кортежем  $Z = \langle V, T, P, K, \gamma \rangle$ , где  $V = \{K \cup R \cup D\}$  – множество переменных или синтаксических категорий языка описания ЭУК;  $P$  – множество правил формирования траектории предъявления материала,  $D \rightarrow T$ , с помощью которых некоторая переменная из  $V$  представляется отдельными понятиями из  $T$  и наборами тестовых заданий,  $\gamma$  - идентификатор индивидуальной реализации курса. Введём понятие *модель обучаемого* ( $G$ ), которая содержит данные о динамике оценок за предыдущие периоды работы с АОС и особенностях индивидуального освоения дисциплины (форме представления материала, текущей стратегии, скорости обучения и пр.). Она должна учитываться при осуществлении процесса обучения следующим образом:

$$\|\bar{h}(C) - h(G, D, r+1)\| \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $h$  - текущая оценка знаний;  $\bar{h}$  - вектор эталонного знания разделов дисциплины,  $r$  - порядковый номер захода работы с подсистемой тестирования,  $C$  – цель работы с ЭУК. Для рассматриваемой структуры необходимо реализовать рациональную работу подсистемы контроля.

В процессе системного анализа предметной области было выявлено, что в основном, учебный эффект тестов падает из-за того, что: 1. не учитываются цели обучения; 2. игнорируются связи между дидактическим материалом электронных учебных курсов и тестовыми заданиями; 3. сужается область регистрируемых и анализируемых при оценивании факторов; 4. не эффективно применяются возможности современных инструментов анализа данных при реализации процессов личностно-ориентированного обучения и контроля (в частности, при использовании методов искусственного интеллекта).

Для решения задачи повышения эффекта от применения ОКТ было предложена следующая последовательность процесса обработки информации в подсистеме контроля: *генерация тестовой выборки – предъявление тестовых заданий – анализ результатов – расчет оценки*. При этом от этапа *предъявление тестовых заданий* также идёт связь с компонентами *обучение* и *модель курса*, где вырабатываются обучающие и управляющие воздействия на АОС для реализации обратной связи.

В заключение главы сделаны выводы о необходимости разработки методов обучающего тестирования, позволяющие эффективно учитывать цели обучения и индивидуализировать обучающее воздействие на пользователя.

**Вторая глава** посвящена разработке методов обучающего компьютерного тестирования. В первую очередь выделены три основных процесса

1) Адаптация – формирование индивидуального состава тестовой выборки непосредственно перед предъявлением пользователю.

2) Оценивание – уточнение набранного количества баллов после решения теста (с учётом цели работы с ЭУК и метаинформации).

3) Индивидуализация обучающего воздействия – реализация возможности взаимодействия пользователя с ЭУК посредством ОКТ как на этапе прохождения теста, так и на этапе завершения работы с тестом.

Рассмотрим систему, позволяющую реализовать следующие *возможности*: компоновать в рамках одной архитектуры АОС произвольного числа учебных дисциплин; минимизировать дублирование учебного и тестового материала; свести к минимуму действия педагога при формировании ЭУК; учитывать предпочтения и цели работы обучаемого с АОС; обеспечить возможность реализации обратной связи ЭУК с пользователем, посредством расширения данных в метаинформации (модели курса). Под целями работы с курсом понимается рациональная реализация следующих случаев взаимодействия с ЭУК: выполняется учебный стандарт в полном объёме; пользователь сам указывает, какую направленность знаний он хочет получить (ознакомительную, теоретическую, практическую, обычную стандартизированную, углублённую, расширенную и пр. с указанием своего профиля); пользователь сам указывает, какие именно разделы ему необходимо знать по результату прохождения курса. В результате на базе АОС должен формироваться такой вариант ЭУК, который будет отвечать индивидуальным потребностям обучаемого как в плане дидактических единиц, так и в плане тестового контроля, и соответствовать (1).

Дополним структуру материала ЭУК  $Z$  категориями *учебный курс* и *реализация*, и опишем каждый элемент знаний (дидактическую единицу) в модели курса признаками важности (обязательность для изучения); уровнем специализации; формой представления (текст, формула, рисунок и пр.); сложностью (с позиции разработчика ЭУК); местом в стандартизированной последовательности предъявления; ключевыми словами; набором связей с учебным материалом, обучающими тестами и другими элементами АОС. Это позволит перейти от графа типа дерево к семантической сети, где каждый узел является дидактической единицей ( $D$ ) или термином ( $T$ ); каждое ребро характеризует *семантическую связь* между узлами набором параметров, типа «родительский / дочерний», «зависит / не зависит», «важный / незначительный»; направление рёбер сообщает о конфигурации начальной траектории обучения, которая должна осуществляться при стандартизованном, либо начальном (неадаптированном) обращении к ЭУК. Теперь появляется возможность не только наследовать индивидуальные свойства дидактических единиц

(сложность, важность, форма представления, вид и т.д.), но и создавать и переопределять связи в исходной иерархии объектов. Очевидно, что задания для ОКТ и соответствующие разделам термины будут также наследоваться для любой реализации ЭУК.

Для успешного применения ОКТ требуется обоснованное определение таких параметров теста, как его длина, объём банка тестовых заданий, граница минимального для выставления положительного балла, а так же трудность и повторяемость тестовых заданий. Все они могут существенно повлиять на исход теста, особенно при стратегии случайного выбора ответов (угадывании). Поэтому в исследовании приводятся конкретные рекомендации по их выбору.

Сформируем множество доступных для регистрации системой ОКТ факторов, включая результаты тестирования, динамику обучения и данных о пользователе, как  $\{S\}$  и посмотрим, каким образом они будут влиять на результаты обучения в разрезе разделов ЭУК. Пусть  $\{\eta\}$  - вектор, хранящий значения вклада каждого  $k$ -го раздела в итоговую тестовую выборку. Тогда для управления процессом *адаптации* тестовой выборки при ОКТ можно применить вектор скоростей изменения  $\{\alpha_k\}$ , показывающий необходимость пересмотра состава очередного  $\eta_k$  в соответствии с (2).

$$\eta'_k = \eta_k + \chi \cdot \alpha_k, \quad \alpha_k = f_{ad}(S_{adapt}), \quad (2)$$

где  $\chi$  - значение баланса, приходящееся на одно тестовое задание, а  $f_{ad}$  - сокращённая представленная функция обработки параметров ситуации предыдущего сеанса тестирования (адаптация с памятью через механизм обратной связи как  $D \rightarrow D'$ );  $S_{adapt}$  - часть  $\{S\}$ , учитываемая при реализации процесса адаптации.

Представим модель получения знаний в виде итерационного процесса. Предполагается, что на каждом из промежуточных испытаний тестируемый должен усвоить тот объём материала, который запланирован в учебном плане ( $\beta_{norm}$ ). В соответствии с результатами промежуточного контроля можно выявить фактическую успеваемость обучаемого ( $\beta_{факт}$ ). Очевидно, что  $\beta_{norm} \geq \beta_{факт}$ . Тогда механизм расчета *поправки оценки* ( $H \rightarrow H'$ ) в разрезе разделов можно представить в виде выражения (3):

$$h'_k = h_k + \delta_k, \quad \delta_k = f_{oc.u}(S_{oc}), \quad (3)$$

где  $h'_k$  - балл с учётом поправки,  $\delta$  - шаг изменения оценки (в процентах),  $f_{oc.u}$  - упрощённо представленная функция обработки параметров ситуации тестирования ( $S_{oc} \in S$ ).

Третий базовый процесс ОКТ – *индивидуализация*, –реализован в двух вариантах: прямой и косвенный методы (рисунок 2).

*Прямой метод* индивидуализации предполагает следующую стратегию работы пользователя с АОС: изучается материал ЭУК, осуществляется тестирование, подсистема ОКТ создаёт детализированный отчёт с рекомендациями

по дальнейшему изучению курса. Далее пользователь обращается к нужным элементам ЭУК непосредственно из отчёта АОС, после чего тестирование повторяется (система ОКТ пассивна).

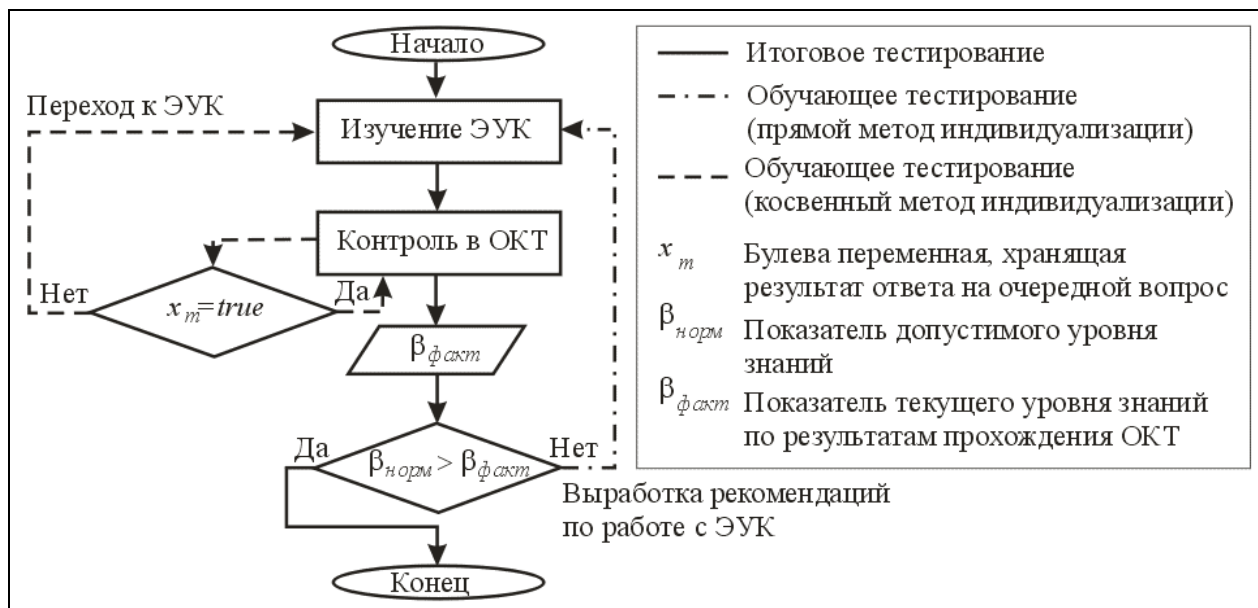


Рисунок 2 – Методы адаптации при ОКТ

*Косвенный метод* индивидуализации позволяет выбрать другую стратегию обучения: изучается материал ЭУК, осуществляется очередное тестирование, в ходе которого пользователь может вызвать функцию обучения, которая выведет подробный отчёт о структуре материала, который необходимо знать для ответа на текущий вопрос, и обеспечит возможность перехода в нужный раздел ЭУК (система ОКТ активна).

Предложенные стратегии по индивидуализации траектории обучения позволяют сформировать комплексную подсказку/отчёт, содержащую набор ссылок на текст курса, литературу (основную и вспомогательную), задачи, базовые термины и разделы (отчёт для каждой ситуации комплектуется динамически). За счёт семантических связей достигается полнота и непротиворечивость рекомендаций АОС, формируемых в виде компактной подсказки. Из окна рекомендаций АОС можно перейти непосредственно к учебному материалу, отмеченному в подсказке. Это существенно сокращает время работы пользователя по поиску нужной информации в ЭУК, опираясь на текущий уровень знаний и цели работы с курсом. Так как каждое тестовое задание содержит связи с разделами ЭУК и набором терминов, то процесс проверки и обучения можно совместить, делая активными и подсистему ОКТ, и модель пользователя, и модель курса.

Используя многокритериальный анализ можно скомпоновать оптимальную конфигурацию ЭУК, отвечающую заявленным пользователем целям. Для этого требуется осуществить отображение (4):

$$f_{индив} : \langle S_{индив}, r, \varepsilon_{общ}, V \rangle \rightarrow P_{опт} \quad (4)$$

где  $S_{индив}$  - сочетание некоторых элементов из  $\{S\}$  и модели курса;  $r$  - число этапов освоения дисциплины во времени; а  $\varepsilon_{общ}$  определяется по формуле (5).

$$\varepsilon_{общ} = \frac{\sum_{i=1}^r (\beta_i^{норм} - \beta_i^{факт})^2}{r-1} . \quad (5)$$

Таким образом, в главе разработаны методы формирования простой и адаптированной тестовой выборки, позволяющий повысить эффективность управления процессом обучающего тестирования за счёт механизма индивидуализации и реализации обратной связи, комплексного оценивания результатов ОКТ как в режиме итогового тестирования, так и в режиме обучающего тестирования. Это становится возможно за счёт расширения поля анализируемых факторов, привлечения семантических связей дидактического материала ЭУК и учёта динамики обучения, а также ввода концептуальной модели индивидуализации и оптимизации траектории обучения, позволяющей повысить эффективность самообучения на ЭУК при использовании обучающих тестов и комплексного описания семантических связей между объектами учебного материала.

В заключение главы сделаны выводы о необходимости применения методов, которые позволят осуществить сложный многофакторный анализ разнородных данных и преодолеть их неопределённость для эффективной реализации механизмов (2), (3) и (4) подсистемы ОКТ.

**В третьей главе** рассматриваются прикладные задачи управления процессами обучения и тестирования с использованием методов искусственного интеллекта, такие как экспертные системы, семантические сети и нечёткая логика, применяемые в качестве инструментов преодоления неопределённости в сложных аналитических задачах ОКТ.

Логический вывод при анализе параметров, влияющих на процессы адаптации, оценивания и индивидуализации, представлен в виде продукционной системы. Так как известны некоторые принципы работы логики преподавателя, то было предложено использовать теорию нечёткой логики, как методы преодоления неоднозначности интерпретации различных факторов на множестве экспертов. На примере процессов адаптации, оценивания и индивидуализации предложены варианты преобработки нечёткой информации о процессе ЭУК (множество  $S$ ), т.е. составлены характеристические функции терм множеств, преобразующие количественные входные данные к качественному представлению.

В 3 разделе предложена архитектура экспертных систем для каждого из базовых процессов, имитирующих сложный логический вывод. За основу эксперимента по моделированию рассуждения эксперта взята трёхслойная продукционная архитектура. На вход экспертным системам подаются начальные данные о процессе тестирования, пользователе и динамике его обучения, а так же метаинформация о курсе. Далее информация проходит процесс фа-

зификации и за три шага вырабатывает нужный результат. В общем случае, трёхслойную модель экспертной системы представим в следующем виде:

$$S \xrightarrow{f_{\text{фаз}}} \langle \Phi_1 \rightarrow \Phi_2 \rightarrow \Phi_3 \rangle \xrightarrow{f_{\text{дефаз}}} \text{вывод}, \quad (6)$$

где  $\Phi_i$  - слой логического вывода в ЭС (наборы терм-множеств), на которые осуществляет отображение данные предыдущего ( $i-1$ ) слоя. Расчет значений ряда компонентов из  $\{S\}$  производится посредством анализа семантической сети в контексте цели обучения.

Получения значений коэффициентов скоростей адаптации из (2) осуществляется экспертной системой, имеющей архитектуру, показанную на рисунке 3 (а). Промежуточные решения будут характеризоваться терм-множествами «успешность обучения», «качество последней оценки», «необходимость знаний для цели обучения» в разрезе проверяемых разделов ЭУК.

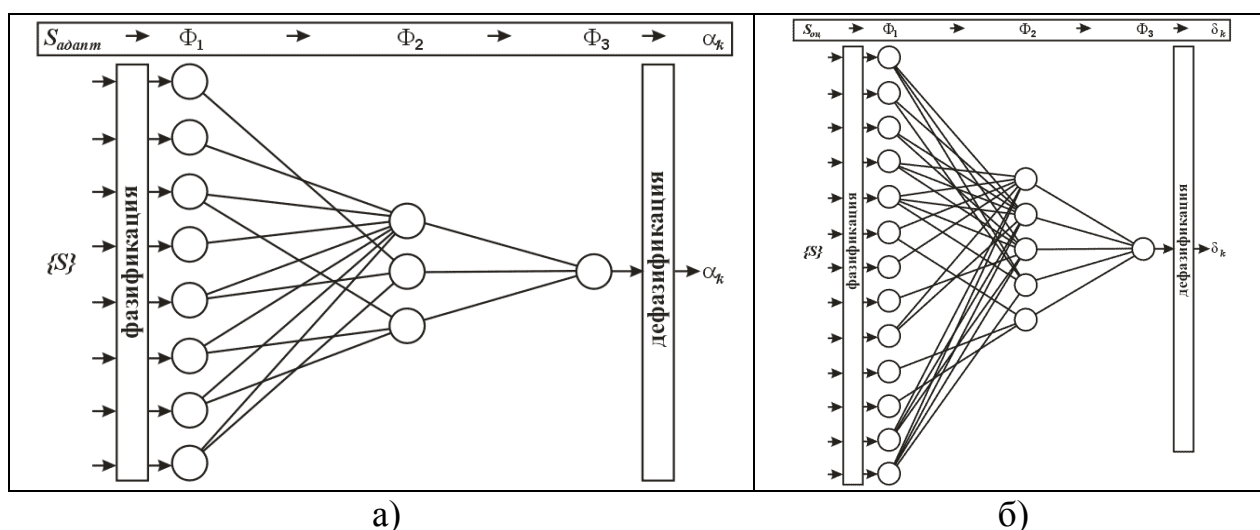


Рисунок 3 – Архитектура экспертных систем для адаптации и оценивания

Расчет коэффициентов поправки для оценки соответствующих разделов ЭУК по (3) осуществляется экспертной системой, имеющей архитектуру, показанной на рисунке 3 (б). Промежуточные решения будут характеризоваться терм-множествами «успешность обучения», «качество последней оценки», «случайность результата», «факты прерывания/пропуска заданий», «необходимость знаний для цели обучения».

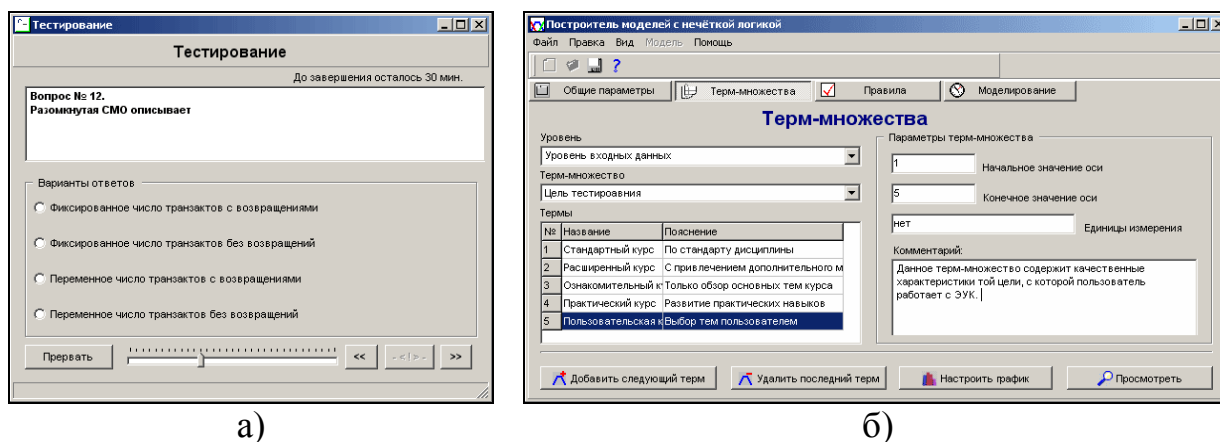
Архитектура экспертной системы и логическая схема анализа данных для поддержки процесса индивидуализации предъявления учебного материала в соответствии с (4) тоже имеет три слоя. Промежуточными заключениями будет набор терм-множеств «соответствие материала целям», «текущий уровень знаний», «значимость элемента курса для ЭУК», «динамика обучения». На выходе ЭС будет сформировано множество рекомендаций по работе с дидактическим материалом в зависимости от текущего метода индивидуализации.

Предложенный подход к анализу параметров ОКТ в ЭС инвариантен относительно различных ЭУК. Это позволяет сделать вывод о перспективно-

сти применения методов искусственного интеллекта для анализа данных при проведении ОКТ.

**В четвёртой главе** рассматриваются вопросы реализации, внедрения и апробации системы обучающего адаптивного компьютерного тестирования.

В соответствии с методами и моделями, представленными во второй и третьей части работы, был разработан прототип АОС, базирующийся на подходе ОКТ. В качестве базовой платформы была выбрана операционная система Windows, языком реализации стала система Delphi. Прототип системы представлен следующими программными модулями:



а) б)  
Рисунок 4 – Окна программ СиТест и FLM\_Builder

1) Конструктор ЭУК – модуль, отвечающий за конструирование курса и его настройку.

2) Транслятор ЭУК – модуль, отвечающий за автоматизированное предъявление учебного материала пользователю.

3) Конструктор ОКТ – модуль, отвечающий за разработку контрольного материала и его интеграцию с элементами ЭУК;

4) Система обучающего тестирования – модуль, отвечающий за проведение контрольных мероприятий в виде тестирования и индивидуализацию обучения (рисунок 4, а).

5) Аналитик – модуль, отвечающий за сбор статистики, её анализ и подготовку отчётов;

6) Администратор – модуль, отвечающий за настройку и обслуживание всей АОС.

Первая версия комплекта модулей «Конструктор ОКТ», «Система обучающего тестирования», «Аналитик» и «Администратор» зарегистрирована в 2006 году в московском Отраслевом фонде программ и алгоритмов под номером 03524577.01145-01 99 01 с общим названием «Система обучающего адаптивного компьютерного тестирования».

Реализация экспертных систем и механизма нечёткой логики осуществлено при помощи программы FLM\_Builder (рисунок 4, б; номер госрегистрации ЕСПД - 02069740.00000-01 99 01). Она позволяет разрабатывать экспертные системы с элементами нечёткой логики и сохранять их во внешнем flm-



файле. Интеграция системы ОКТ и модели производилось за счёт модуля расширения для среды Delphi FLM\_midul (номер госрегистрации ЕСПД - 03524577.01145-01 99 01).

Программный пакет был опробован на примере дисциплины «Имитационное моделирование экономических процессов» для учебного процесса специальности 080801.65 (прикладная информатика в экономике). В эксперименте участвовали студенты 3 курса очной формы обучения. Усреднённая динамика успехов учащихся, применяющих систему «СиТест» для самообучения, приведена на рисунке 5. Анализ полученных результатов показал, что свободное перемещение между процессами обучения, обучающего и итогового тестирования позволило повысить эффективность обратной связи между пользователем и АОС.

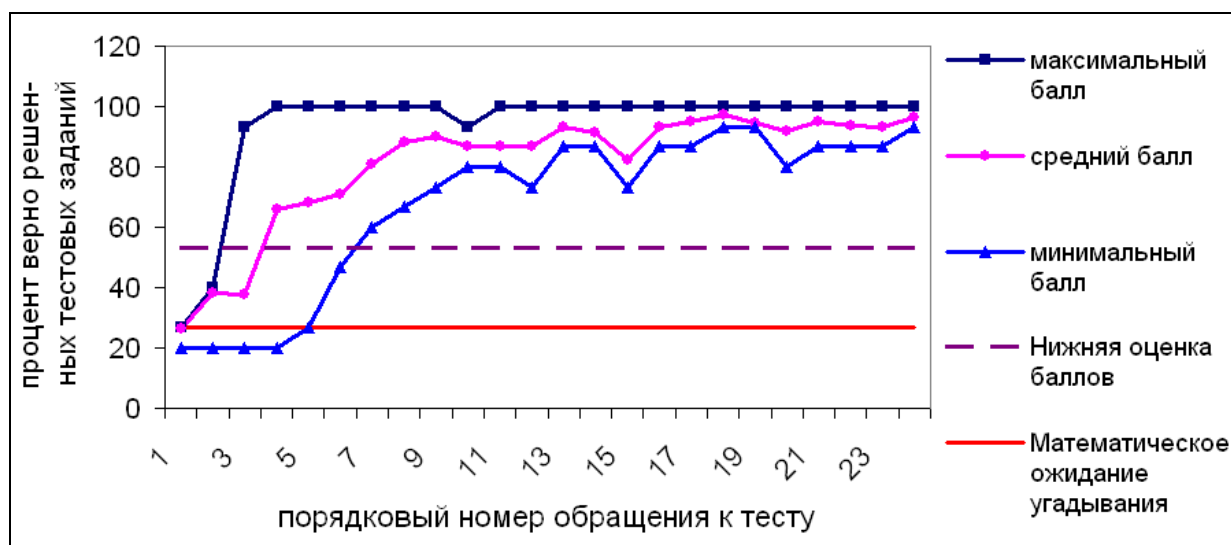


Рисунок 5 – Усреднённая динамика оценок за тест

Предложенная в работе модель организации учебного и контрольного материалов в АОС, а так же методы комплектования и адаптации учебного и контролирующего материалов методами искусственного интеллекта, позволили на практике повысить эффективность процесса самообучения на ЭУК.

**Приложения** содержат часть табличного материала, копии свидетельств о регистрации и актов о внедрении в учебный процесс прототипа программы СиТест.

### Заключение

Анализ результатов диссертационного исследования позволил сделать следующие выводы:

1. Показано, что эффективный процесс обратной связи электронного учебного курса и пользователя/обучаемого может быть реализован с использованием компьютерного тестирования, интегрированного с учебным материалом на уровне семантических связей.

2. Показано, что метод итогового педагогического тестирования не позволяет эффективно решить задачу автоматизированного обучения;



3. Приведено определение обучающего компьютерного тестирования. Обосновано его выделение, как самостоятельного вида педагогического тестирования, и показано, что оно требует развития собственных методов и моделей.

4. Разработана концептуальная модель обучающего компьютерного тестирования и его интеграции с электронным учебным курсом. Выделено три основных процесса: индивидуализация тестовой выборки, оценивание результатов тестирования и индивидуализация/оптимизация траектории обучения.

5. Предложены математические модели, выявлены и проанализированы факторы, созданы алгоритмы, позволяющие на практике реализовать подход обучающего тестирования;

6. Предложена и реализована идея использования экспертных систем, нечёткой логики и семантических сетей для многофакторного анализа данных при обработке информации о ходе обучающего тестирования;

7. Разработан прототип программной среды (пакет СиТест), реализующий методы обучающего тестирования;

8. Подтверждена эффективность метода обучающего тестирования при самостоятельном обучении на примере дисциплин «Имитационное моделирование экономических процессов», «Теория экономических информационных систем», «Информационные системы маркетинга».

Полученные результаты могут быть применены при проектировании и разработке полноценной автоматизированной обучающей системы, включающей как электронные учебные курсы, так и подсистему обучающего компьютерного тестирования.

### **Публикации автора по теме диссертации**

Публикации в изданиях по перечню ВАК:

1 Углев, В.А. Модель структурной адаптации электронных учебных курсов с помощью обучающего компьютерного тестирования / В.А. Углев, В.А. Устинов, Б.С. Добронев // Вестник НГУ. — 2009. — Вып. 2. — Том 7 — С. 74—87.

2 Углев, В.А. Системный подход к процессу обучающего компьютерного тестирования / В.А. Углев, В.А. Устинов, Б.С. Добронев // Информационные технологии. — 2008. — №4. — С. 81—87.

3 Углев, В.А. Структура электронного учебного курса / В.А. Устинов, В.А. Углев // Информатика и образование. 2007. — №8. — С. 123—125.

Основные публикации:

4 Углев, В.А. Обучающее компьютерное тестирование как инструмент управления индивидуализацией траектории обучения / В.А. Углев, В.А. Устинов // Решетневские чтения: Материалы XII Международной научной конференции. — Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т, 2008. — С. 364—366.

5 Углев, В.А. Модель структурирования информации при наполнении электронных учебных курсов и систем обучающего тестирования // / В.А. Уг-

лев, В.А. Устинов // Повышение качества высшего профессионального образования: Материалы Всероссийской научно-методической конференции—Красноярск: ИПК СФУ, 2008. — В 2 ч. Ч. 1. — С. 297—301.

6 Углев, В.А. Модель индивидуализации траектории обучения в автоматизированных обучающих системах с применением обучающих тестов и экспертных систем / Углев В. А. // Нейроинформатика, ее приложения и анализ данных: сб. материалов XVI всероссийского семинара. — Красноярск, 2008. — С. 153—157.

7 Uglev V.A., Samrina F.I. Using of possibilities in learning tests for individualization of displaying material in electronic education courses // Modern Techniques and Technologies: The fourteenth International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Tomsk Polytechnic University. — Tomsk: TPU Press, 2008. — p. 96—100.

8 Углев, В.А. Обработка факторов процесса тестирования для базы знаний оценки обучающего теста / В.А. Углев // Современные проблемы информатизации в моделировании и социальных технологиях: сб. трудов . Вып. 13. — Воронеж: Научная книга, 2008. — С. 181—185.

9 Углев, В.А. Влияние целей проведения и условий организации компьютерного тестирования на эффективность проявления знаний / В.А. Углев // Системы и модели: границы интерпретации: сб. материалов всероссийской науч. конференции. — Томск: ТГПУ, 2007. — С. 192—194.

10 Углев, В.А. Предобработка входной информации для базы знаний, реализующей механизм адаптации обучающего тестирования / В.А. Углев // Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе: сб. материалов всероссийской науч.-практич. конференции с международным участием. — Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2007. — С. 9—13.

11 Углев, В.А. Комплексный подход к процессу оценивания при обучающем компьютерном тестировании / В.А. Углев // Теория и практика измерения латентных переменных в образовании: сб. материалов IX всероссийской науч.-практич. конференции. — Славянск-на-Кубани: СГПИ, 2007. — С. 151—155.

12 Углев, В.А. Обучающее компьютерное тестирование / В.А. Углев // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: сб. материалов VIII всероссийской науч.-тех. конференции. — Улан-Удэ: ВСГТУ, 2007. — С. 312—316.

13 Углев, В.А. К вопросу об эффективности анализа факторов при обучающем компьютерном тестировании / В.А. Углев, В.А. Устинов // Информационные технологии в образовании и науке: сб. материалов всероссийской науч.-практич. конференции. — М.: МФА, 2007. — Ч. 1. — С. 203—208.

14 Углев, В.А. Модель оценивания при обучающем адаптивном компьютерном тестировании / В.А. Углев // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сб. материалов V международной науч.-тех. конференции. — Пенза: РИО ПГСХА, 2006. — С. 312—315.

15 Углев, В.А. Модель адаптации при обучающем адаптивном компьютерном тестировании / В.А. Углев // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: сб. материалов всероссийской науч.-тех. конференции. — Улан-Удэ: ВСГТУ, 2006. — С. 238—242.

16 Углев, В.А. Статистический анализ результатов тестирования в адаптивной системе обучения и контроля / В.А. Углев, В.А. Устинов // Наука и образование: сб. материалов VI международной науч. конференции. — Белово: Беловски полиграфист, 2006. — В 4 ч. Ч. 1. — С. 569—573.

17 Углев, В.А. Методы нечёткой логики при уточнении результатов тестирования / В.А. Углев // Молодёжь и наука: начало XXI века: сб. материалов всероссийской науч.-тех. конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. — Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. — В 3 ч. Ч. 1. — С. 301—304.

18 Углев, В.А. Разработка обучающей среды компьютерного тестирования / В.А. Углев, В.А. Устинов // Повышение качества непрерывного профессионального образования: сб. материалов всероссийской науч.-метод. конференции с международным участием. — Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. — В 2 ч. Ч. 2. — С. 234—237.

19 Углев, В.А. Обучающее адаптивное тестирование с применением экспертных систем / В.А. Углев // Информационные технологии в образовании и науке: сб. материалов всероссийской науч.-практич. конференции. — М.: МФА, 2006. — В 3 ч. Ч. 3. — С. 606—611.

20 Углев, В.А. Система обучающего адаптивного компьютерного тестирования / В.А. Углев // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ (Россия) — М.: ОФАП, 2006. — номер госрегистрации (ЕСПД) — 03524577.01414-01; заявл. 29.03.2006; опубл. в газете «Инновации в науке и образовании (Телеграф отраслевого фонда алгоритмов и программ)». — 2006. — №4(15). — С. 19.

Выражаю благодарность доценту Хакасского технического института - филиала СФУ, кандидату технических наук Устинову В.А. за консультации и содействие в проведении эксперимента.

Углев Виктор Александрович

Модели и методы построения систем обучающего компьютерного тестирования на основе экспертных систем с элементами нечёткой логики

Автореф. дисс. на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Подписано в печать 19.08.2009. Заказ

Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 1,1. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии ИПК СФУ  
660074, Красноярск, ул. Киренского, 28