

*На правах рукописи*



**Комаров Евгений Геннадиевич**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ С УЧЕТОМ НЕЧЕТКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (образование)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Москва – 2011

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса» и ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика»

Научный консультант: Домрачев Вилен Григорьевич  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Данилюк Сергей Григорьевич  
доктор технических наук, профессор

Игнатова Ирина Гургеновна  
доктор технических наук, профессор

Сытник Александр Александрович  
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:  
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

Защита состоится «23» марта 2012 г. в 14-00 час. на заседании диссертационного совета ДМ 008.004.02 при Учреждении Российской академии образования «Институт информатизации образования» по адресу: 119121, г. Москва, ул. Погодинская, д. 8.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждении Российской академии образования «Институт информатизации образования»

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета:  
доктор педагогических наук,  
кандидат технических наук, профессор



О.А. Козлов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Современный этап развития информационного общества характеризуется становлением принципиально новых технологий обработки информации образовательного процесса и управления на ее основе. Потребности в этих технологиях сформированы активными преобразованиями в промышленности, экономике, социально-политической области, а их развитие направлено на решение насущных проблем образования, что рассмотрено в работах Васильева Вик.Н., Васильева Вл.Н., Васильева С.Н., Гузаирова М.Б., Гуриева М.А., Иванникова А.Д., Майера Г.В., Мищенко С.В., Роберт И.В., Стронгина Р.Г., Тихомирова В.Н., Тихонова А.Н., и др. Современное высшее образование в соответствии с потребностями общества нуждается в компетентных, конкурентоспособных специалистах, умеющих в короткие сроки освоить задачи профессионального поля деятельности и успешно их выполнять. В процессе обучения заинтересованы несколько сторон: обучающиеся, учебные заведения, работодатели и общество в целом. Современный специалист должен гармонично сочетать профессиональные знания, умения, навыки, творческие способности и личностные качества, обладать требуемыми профессиональными компетенциями. Однако, достаточно часто выпускники вузов не в состоянии решать задачи их профессионального поля деятельности в силу ряда причин. Такими причинами могут быть недостаточность знаний, отсутствие определенных личностных качеств, а также незнание или недостаточное знание специфики будущей деятельности и требований работодателей. В результате этих причин выпускники теряют интерес к профессиональной деятельности, поскольку не могут успешно решать поставленные задачи. Этим исследованиям посвящены труды Игнатовой И.Г., Крукиера Л.А., Кульбы В.В., Найханова В.В., Николаева А.Б., Новикова Д.А., Палюха Б.В. и др.

В Федеральных государственных образовательных стандартах сформированы новые требования к оценке качества реализации учебного процесса и результатов освоения основных образовательных программ. В связи с этим произошел переход от квалификационной модели, где критериями подготовленности выпускника было умение решать определенные задачи к компетентностной модели, где введены более общие понятия - направление подготовки и обладание компетенциями, которые, в свою очередь, были сформулированы работодателями, представителями производства, экспертами.

Многие показатели образовательного процесса не только трудноизмеримы, но и трудноформализуемы, поскольку являются нечисловыми и могут быть описаны экспертами только на вербальном уровне. Например, «низкая успеваемость», «эффективность нового подхода оказалась гораздо ниже ожидаемой», «данная среда обладает высокими потенциальными информационными возможностями», «возможность применения новых технологий практически отсутствует» и т. д.

Использование естественного языка при оценке тех или иных показателей вносит нечеткость в итоговые данные. Информация, содержащая нечеткие данные, получила название нечеткой информации.

Возможность обработки нечеткой информации появилась в 1965 году после пионерской работы проф. Лотфи А. Заде. До этой работы нечеткую информацию пытались обрабатывать с помощью классических и субъективных вероятностей. Эти попытки не принесли успеха в связи с известными ограничительными требованиями их использования. Наличие сложной структуры информации областей деятельности человека (в том числе образовательного процесса) привело к необходимости разработки и применения теории, сочетающей математическую статистику и теорию нечетких множеств. В 2003 году эта теория получила название фаззистики (fuzzistics) в работах L. Zadeh, J. Mendel, Chiu-Keung Law, H. Wang, G. Capaldo, G. Zollo. Однако высокая динамичность процессов сферы образования, постоянное изменение требований, предъявляемых к этим процессам, заставляет разрабатывать новейшие методы обработки нечеткой информации и использовать их для создания автоматизированной системы управления (АСУ) процессом обучения на основе этих методов. Такие исследования проводятся в работах Бухановского А.В., Вагина В.Н., Добрякова А.А., Курейчика В.М., Прохорова С.А., Рыбиной Г.В., Симанкова В.С., Сытника А.А. Чернышева Ю.А. и многих других.

Основная цель разрабатываемой автоматизированной системы управления (АСУ) – обеспечение повышения качества обучения, производительности, устойчивости окончательных выводов и адекватности управляющих воздействий на основе разработки и применения нечетких методов обработки информации в условиях активных преобразований в промышленности, экономике и образовании. Принципы построения АСУ в образовании изложены в работах Иванова И.П., Лисицыной Л.С., Насадкиной О.Ю., Подольского В.Е., Рузановой Н.С., Швецова В.Н., Ямпольского В.З. и др.

**Проблема исследования** определяется несоответствием возможностей существующих АСУ потребностям управления и анализа процесса обучения с учетом нечеткой информации, а также отсутствием теоретических основ, связанных с системным подходом к разработке новых методов обработки информации и управления в условиях динамично меняющейся информации в образовательной сфере.

**Целью диссертационной работы** является разработка теоретических основ построения автоматизированной системы управления обучением с учетом нечеткой информации на основе теории нечетких множеств.

Для достижения указанной цели в работе были поставлены и решены следующие основные **задачи**:

- разработка теоретической модели управления процессом обучения на основе обработки нечеткой информации;
- разработка регрессионных моделей для прогноза характеристик студента и выявление зависимостей между этими характеристиками;

- построение модели рейтингового оценивания на основе совокупности формализованных характеристик специалиста, присвоения им квалификационных уровней и кластеризации полученных результатов;
- разработка метода выбора оператора агрегирования информации образовательного процесса в условиях неопределенности.

**Объект исследования.** Объектом исследования является разработка процесса автоматизации управления обучением с учетом нечеткой информации.

**Предмет исследования.** Предметом исследования являются теоретические основы методов и моделей автоматизированной системы управления обучением в интересах построения.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач применялись методы теории нечетких множеств, нечеткого кластерного анализа, классического и нечеткого регрессионного анализа, математической статистики, вычислительной математики, системного анализа и математического программирования.

**На защиту выносятся.**

1. Теоретическая модель управления процессом обучения с учетом нечеткой информации, обеспечивающая построение автоматизированной системы.
2. Линейная и нелинейная регрессионные модели с исходными нечеткими данными для прогноза характеристик студентов и выявления зависимостей между этими характеристиками.
3. Модель совокупности формализованных значений характеристик специалиста и модель многокритериального рейтингового оценивания студентов на его основе, позволяющая получать числовые рейтинговые оценки.
4. Модели определения рейтинговых оценок студентов и их групп на основе лингвистических значений характеристик.
5. Метод нечеткого кластерного анализа результатов студентов на основе рейтинговых оценок.
6. Метод выбора оператора (функции  $k$ -значной логики) агрегирования информации при мониторинге характеристик студентов.
7. Модель выбора направления профессиональной деятельности студентов на основе максимального соответствия их индивидуальных характеристик совокупности нечетко заданных требований работодателей.

**Теоретическая значимость** исследования состоит в создании теоретического аппарата построения автоматизированной системы управления обучением на основе фаззистики, что позволило одновременно учесть случайную и нечеткую информацию и тем самым повысить устойчивость окончательных выводов и адекватность управляющих воздействий.

Разработан и использован при построении автоматизированной системы метод нечеткого кластерного анализа результатов рейтинговых оценок студентов.

Разработан и применен метод выбора оператора (функции  $k$ -значной логики) агрегирования информации образовательного процесса при выработке управляющих воздействий в условиях неопределенности.

### **Научная новизна.**

В ходе исследования получены следующие новые научные результаты:

1. Разработана теоретическая модель управления обучением с учетом нечеткой информации, которая является основой для построения автоматизированной системы управления обучением.

2. Разработан подход к формализации данных образовательного процесса, заключающийся в построении регрессионных моделей для прогноза характеристик студентов и выявления зависимостей между ними. Полученные линейная и нелинейная модели, являются комбинированными, поскольку сочетают в себе элементы классической и нечеткой регрессионных моделей и позволяют одновременно учитывать два типа неопределенности – случайность и нечеткость, а также повысить прогностическую способность указанных моделей.

3. Разработана модель совокупности формализованных характеристик специалиста для сравнительного анализа с реальными данными студентов, которая учитывает не только рейтинговые оценки, но и экспертные мнения о важности личностных характеристик. Построена модель многокритериального рейтингового оценивания студентов на основе совокупности формализованных характеристик, позволяющая получать числовые рейтинговые оценки.

4. Построены модели определения рейтинговых оценок студентов на основе лингвистических значений характеристик, которые использованы для присвоения студентам квалификационных уровней и нечеткой кластеризации полученных результатов с заданным уровнем доверия.

5. Разработана модель выбора направления профессиональной деятельности студентов на основе максимального соответствия их индивидуальных характеристик совокупности нечетко заданных требований работодателей.

### **Практическая значимость результатов работы.**

1. Разработана автоматизированная система управления обучением, которая обеспечивает устойчивость окончательных выводов и адекватность управляющих воздействий в условиях нечеткой информации.

2. Автоматизированная система используется для управления процессом обучения студентов, для чего:

- выявлены существенные характеристики, влияющие на успешность их будущей профессиональной деятельности;

- построены регрессионные модели для прогноза успешности профессиональной деятельности студентов на разных этапах обучения и обосновано преимущество этих моделей по сравнению с классическими регрессионными моделями;

- осуществлен кластерный анализ полученных прогнозных результатов;

- разработаны рекомендации для каждого студента на основе полученного прогнозного значения и результатов кластерного анализа;

- построены модели совокупности формализованных характеристик образа специалиста на разных этапах обучения;

- представлены значения рейтинговых оценок студентов на основе совокупности формализованных характеристик специалиста;

- разработаны рекомендации на основе рейтинговых оценок и разработанного оператора агрегирования полученной информации;

- осуществлен мониторинг рейтинговых оценок психофизиологических и личностных характеристик студентов и групп студентов на различных этапах их обучения и выработать управляющие рекомендации на основе полученных результатов;

- каждому студенту рекомендовано направление профессиональной деятельности, который соответствует максимальной степени принадлежности его индивидуальных характеристик совокупности нечетко заданных требований работодателей.

Полученные в работе результаты обеспечивают возможность дальнейшего развития практических приложений на их основе и возможность создания новых инструментальных средств.

**Достоверность и обоснованность** полученных научных результатов подтверждена корректностью применения математического аппарата; строгим доказательством сформулированных утверждений; адекватностью теоретических моделей реальным процессам, подтвержденной результатами обработки экспериментальных исследований; положительными результатами опытной эксплуатации автоматизированной системы на всех этапах процесса обучения студентов.

**Реализация результатов работы.** Результаты диссертационной работы внедрены и используются в следующих организациях.

- ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса» – автоматизированная система управления процессом обучения; результаты в дипломном и курсовом проектировании, а также при чтении курсов «Методы обработки экспериментальных данных и планирование эксперимента» и «Методы оптимизации».

- ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет» – алгоритмическое обеспечение для разработки автоматизированных подсистем обработки информации и принятия решений в рамках единой автоматизированной системы вуза.

- ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет» – модель совокупности формализованных характеристик эталонного образа специалиста и рейтинговых оценок студентов на его основе.

- ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского» - Национальный исследовательский университет – модель выбора оптимального направления профессиональной деятельности выпускников.

Отдельные результаты исследования получены при выполнении НИР «Разработка систем интеллектуального анализа информации и поддержки принятия решений в условиях внедрения инновационных подходов и технологий в образовательный процесс» в ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса» и НИР «Новые методы повышения эффективности обучения и их информационная поддержка в условиях неопределенности» в ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика».

**Апробация.** Результаты диссертации прошли апробацию на научных конференциях: ежегодные научно-технические конференции профессорско-преподавательского состава МГУЛ; Международные симпозиумы по прикладной и промышленной математике, 2003, 2005, 2007-2009; Всероссийская научно-практическая конференция «IT – Инновации в образовании», г. Петрозаводск, 2005; Международные научно-практической конференции «КБД –Инфо», г. Сочи, 2005, 2007; Международные научно-практические конференции «Телематика», г. Санкт-Петербург, 2005-2007, 2011; Международный симпозиум «Качество, инновации, образование и CALS-технологии», 2007; Международная научно-практическая конференция «Новые информационные технологии в образовании», г. Екатеринбург, 2007; X Belarussian Mathematical Conference, Minsk, 2008; International Conference «Education, science and economics at universities. Integration to international education area», Plock, Poland, 2008; International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society, NAFIPS'2008, New York, 2008; Cincinnati, Ohio, 2009; El Paso 2011; International Conference of World Academy of Science, Engineering and Technology, Rome, 2009; International Fuzzy Systems Symposium- FUZZYSS'09 – Ankara, 2009; International Symposium on Integrated Uncertainty Management and Applications, Ishikawa, Japan, 2010.

**Публикации.** Результаты диссертации изложены в двух монографиях (одна на английском языке), 46 печатных работах, в том числе в 18 статьях, опубликованных в ведущих рецензируемых научных журналах, перечень которых рекомендован Высшей аттестационной комиссией для докторских диссертаций; в 28 статьях российских и международных научных журналов и тезисах докладов на международных и Всероссийских конференциях. Список работ приведен в конце автореферата.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованных источников из 244 наименований и одного приложения. В работе содержится 62 таблицы и 28 рисунков. Общий объем работы – 266 страниц.



## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, изложены цель и задачи исследования. Определены научная новизна, практическая ценность полученных результатов, основные научные положения, выносимые на защиту. Проведен краткий анализ вопросов, подлежащих исследованию. Обоснована структура диссертации.

**В первой главе** дан анализ методов обработки информации образовательного процесса и управления этим процессом; определены задачи исследования и класс решаемых прикладных задач; обоснована структура диссертации. Сформулирована научная проблема, которая обусловлена несоответствием возможностей существующих АСУ потребностям управления и анализа процесса обучения с использованием нечеткой информации, а также отсутствием теоретических основ, связанных развитием системного подхода в аспектах разработки новых методов обработки информации и управления.

Проанализированы, в том числе критически, известные методы формализации и обработки информации образовательного процесса, а также методы управления обучением на основе этой информации. Выделены достоинства и недостатки известных методов, опирающихся на фундамент различных теорий: теории вероятностей, математической статистики, теории экспертного оценивания, теории нечетких множеств и нечеткой логики.

В настоящее время можно выделить две группы методов, которые используются для обработки информации образовательного процесса и управления на их основе. В первую группу следует отнести, так называемые, традиционные методы математической статистики и теории экспертного оценивания. Во вторую группу следует отнести методы на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики. В силу того, что методы разных групп имеют разные теоретико-множественные основы, то следует остановиться на их достоинствах и недостатках.

Сложность количественного оценивания процессов обучения и управления является следствием сложности обработки данных образовательного процесса в силу их разнородного состава. Данные могут быть значениями количественных или качественных (нечисловых) характеристик. Особенность оценивания качественных характеристик состоит в учете свойств или суждений лиц, измеряющих эти характеристики и принимающих на основе этого субъективного измерения решения.

Методы обработки информации образовательного процесса первой группы не позволяют учитывать эту особенность. При применении арифметических операций к нечисловым элементам порядковых шкал может возникать неустойчивость конечных результатов из-за некорректности этих операций. Поэтому представляется проблематичным получение рейтинговых оценок на основе традиционных сверток отдельных показателей. Подобные проблемы возникают при построении регрессионных моделей с целью

прогноза характеристик студентов. Вместе с тем, существенными достоинствами методов первой группы являются: возможность использования статистической информации, наглядность, распространенность.

Методы второй группы не столь многочисленны, интерпретация выходных данных только на первый взгляд может показаться трудоемкой, поскольку окончательные результаты дают лицу, принимающему решения, больше информации и соответственно облегчают его задачу. Эти методы свободны от некорректности оперирования с элементами порядковых шкал, а кроме этого они позволяют индивидуализировать процесс оценивания и принятия решений, учитывая особенности личности эксперта.

Учитывая накопленный опыт использования методов первой группы и дополняющие (а временами и расширенные) возможности методов второй группы, представляется актуальным разработать методы, которые сочетают достоинства обеих групп, и построить на их основе автоматизированную систему управления обучением. Решение этой проблемы невозможно без разработки теоретических основ построения такой системы, актуальность чего подтверждается объемом накопленной и вновь поступающей информации.

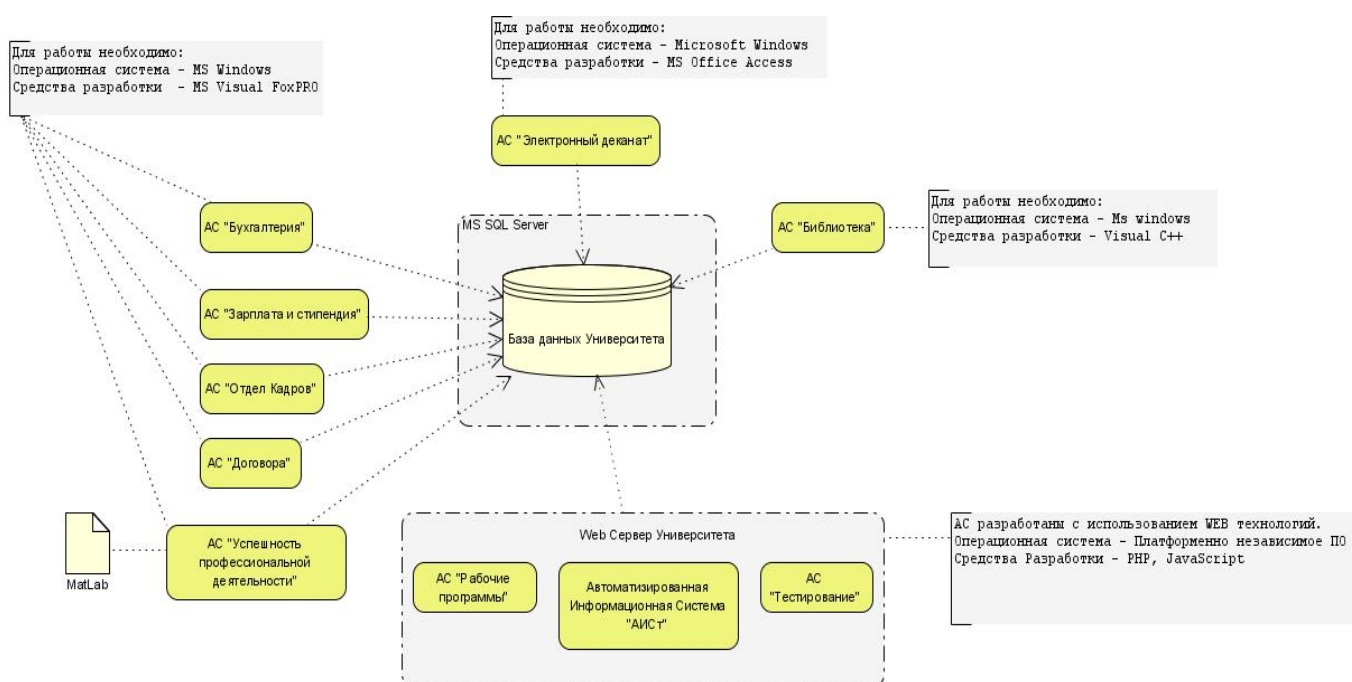


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы ФГБОУ ВПО МГУЛ.

Разработанная автоматизированная система интегрирована в автоматизированную систему вуза. На рис. 1 указано место такой системы с названием «Успешность профессиональной деятельности» в автоматизированной системе ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса».

Входные и выходные данные этой системы хранятся в единой базе данных университета, построенной на MS SQL Server фирмы Microsoft. Получение и запись информации в базе данных реализованы с помощью языка запросов SQL. Для разработки интерфейсной части автоматизированной системы использован Microsoft Visual FoxPRO, для математических вычислений программный продукт MatLAB, для реализации некоторых функций системы язык программирования C++.

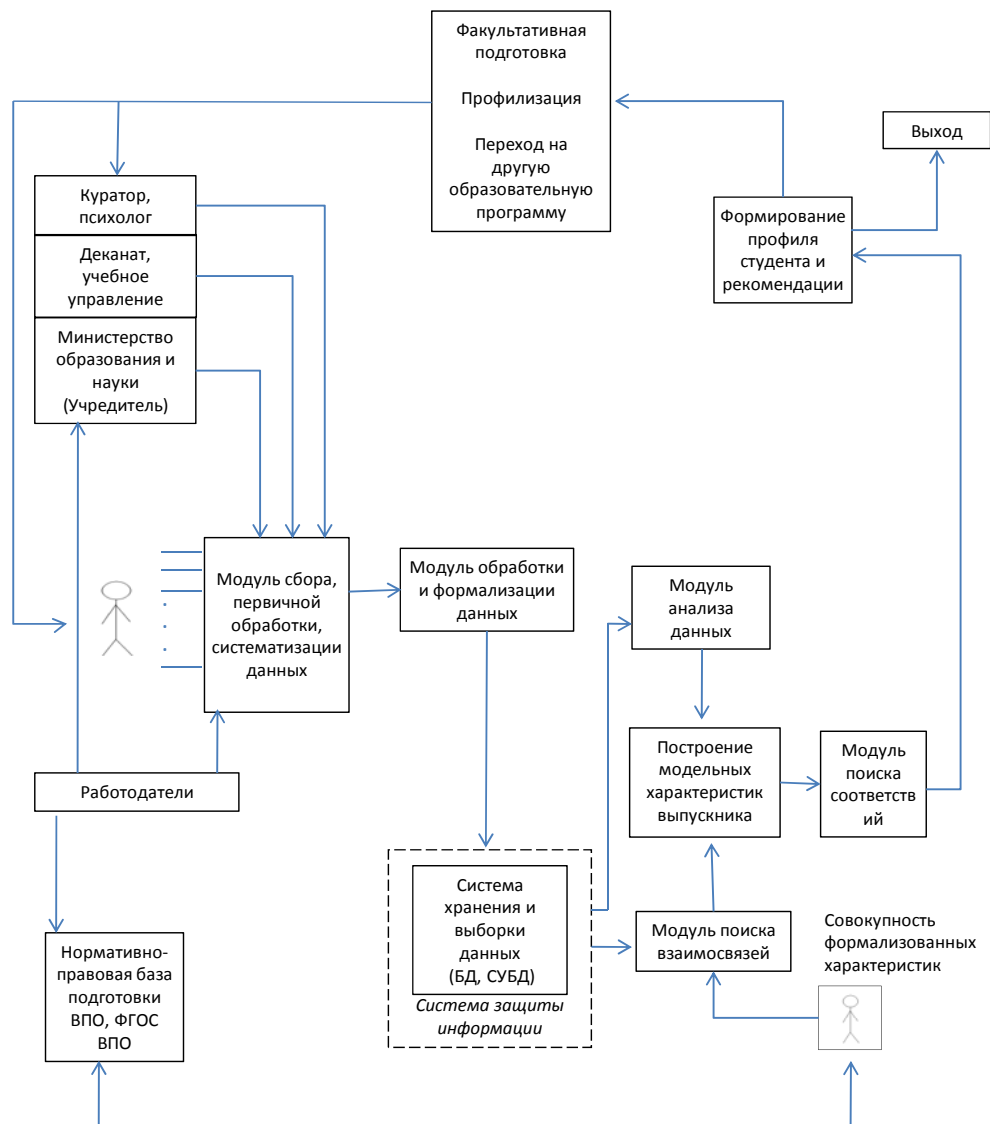


Рис. 2. Организационная структура управления обучением.

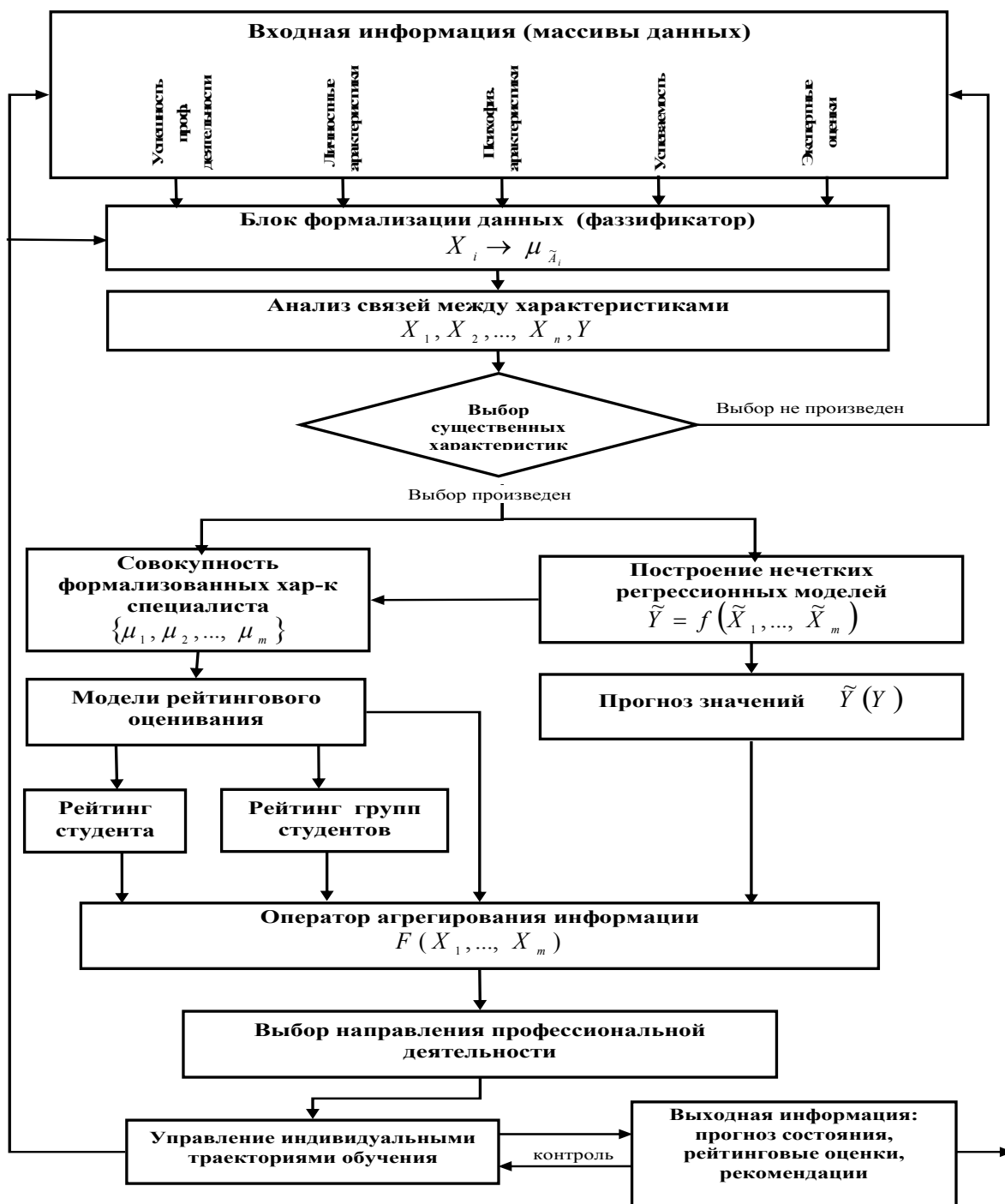


Рис. 3. Блок-схема модели управления обучением с учетом нечеткой информации.

**Вторая глава** посвящена построению регрессионных моделей для прогноза характеристик студентов, и выявлению зависимостей между этими характеристиками. Модели являются комбинированными, поскольку сочетают в себе элементы классической и нечеткой моделей. Входной и выходной информацией разработанных моделей являются нечеткие числа, формализующие значения оцениваемых характеристик студентов.

Нечетким числом  $\tilde{A}$  называется нечеткое множество, имеющее функцию принадлежности

$$\mu_{\tilde{A}}(x): R \rightarrow [0,1].$$

Для формализации значений характеристик студентов разработаны методы, в основу которых положено понятие лингвистической переменной.

Лингвистической переменной называется пятерка

$$\{X, T(X), U, V, S\},$$

где  $X$  - название переменной;  $T(X) = \{X_i, i = \overline{1, m}\}$  - терм-множество переменной  $X$ , то есть множество термов или названий лингвистических значений переменной  $X$  (каждое из этих значений – нечеткая переменная со значениями из универсального множества  $U$ );  $V$  - синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной  $X$ ;  $S$  - семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной с названием из  $T(X)$  нечеткое подмножество универсального множества  $U$ .

Исходной информацией процесса формализации характеристик студентов является статистическая или экспертная информация. Универсальным множеством выбран отрезок  $[0, 1]$ . В качестве формализаций выбрана совокупность  $(L - R)$ -чисел, которые определяются четырьмя параметрами  $\tilde{A} \equiv (a_1, a_2, a_L, a_R)$  (или  $\mu_{\tilde{A}}(x) \equiv (a_1, a_2, a_L, a_R)$ ). Первые два параметра в скобках являются абсциссами соответственно левого и правого концов верхнего основания криволинейной трапеции, которая является графиком функции принадлежности. Два последних параметра являются длинами соответственно левого и правого крыльев трапеции. Число  $\tilde{A}$  называется толерантным  $(L - R)$ -числом, которое в случае  $L = R = 1 - x$  называется  $T$ -числом. Унимодальное  $(L - R)$ -число  $\tilde{A}$  имеет функцию принадлежности толерантного  $(L - R)$ -числа при условии  $a_1 = a_2$ .

В случае статистической информации функции принадлежности формализаций строятся, опираясь на понятие геометрических вероятностей.

Для моделей формализации определены аналоги ошибок первого, второго рода и аналог показателя надежности.

Обозначим через  $\Lambda$  совокупность всех толерантных и унимодальных  $(L - R)$ -чисел. В главе разработано новое понятие - взвешенный отрезок  $[A_1, A_2]$  для  $\Lambda$ -толерантного числа  $\tilde{A} \equiv (a_1, a_2, a_L, a_R)$ :

$A_1 = a_1 - la_L, A_2 = a_2 + ra_R, l = \int_0^1 L^{-1}(\alpha) \alpha d\alpha, r = \int_0^1 R^{-1}(\alpha) \alpha d\alpha$  и доказаны его свойства.

Для двух  $\Lambda$ -толерантных чисел  $\tilde{A}, \tilde{B}$  с взвешенными отрезками  $[A_1, A_2], [B_1, B_2]$  определена мера близости:

$$f(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{(A_1 - B_1)^2 + (A_2 - B_2)^2}.$$

Зависимость между лингвистическими переменными построена в виде:

$$\tilde{Y} = \tilde{a}_0 + \tilde{a}_1 \tilde{X}_1 + \dots + \tilde{a}_m \tilde{X}_m,$$

где  $\tilde{a}_j \equiv (b^j, b_L^j, b_R^j), j = \overline{0, m}$  - неизвестные коэффициенты регрессионной модели -  $\Lambda$ -уни模альные числа. Исходными данными являются значения случайных величин, а  $\Lambda$ -толерантные числа, которые формализуют характеристики студентов на основе методов, разработанных в диссертационной работе.

Определим взвешенные отрезки  $[y_1^i - ly_L^i, y_2^i + ry_R^i], i = \overline{1, n}$  для наблюдаемых выходных данных  $\tilde{Y}_i \equiv (y_1^i, y_2^i, y_L^i, y_R^i)$ . Обозначим через  $[\theta_{\tilde{a}_j, \tilde{X}_j^i}^1(b^j, b_L^j, b_R^j), \theta_{\tilde{a}_j, \tilde{X}_j^i}^2(b^j, b_L^j, b_R^j)], j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$  взвешенные отрезки произведений чисел  $\tilde{a}_j$  и  $\tilde{X}_j^i \equiv (x_1^{ji}, x_2^{ji}, x_L^{ji}, x_R^{ji}), j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$ . Определим взвешенные отрезки

$[b^0 - lb_L^0 + \sum_{j=1}^m \theta_{\tilde{a}_j, \tilde{X}_j^i}^1(b^j, b_L^j, b_R^j), b^0 + rb_R^0 + \sum_{j=1}^m \theta_{\tilde{a}_j, \tilde{X}_j^i}^2(b^j, b_L^j, b_R^j)], i = \overline{1, n}$  для

модельных выходных данных  $\hat{Y}_i = \tilde{a}_0 + \tilde{a}_1 \tilde{X}_1^i + \dots + \tilde{a}_m \tilde{X}_m^i$ . Рассмотрим функционал  $F = \sum_{i=1}^n f^2(\hat{Y}_i, \tilde{Y}_i)$ , который характеризует меру близости между

исходными и модельными выходными данными.

Оптимизационная задача ставится следующим образом:

$$F(b^j, b_L^j, b_R^j) = \sum_{i=1}^n f^2(\hat{Y}_i, \tilde{Y}_i) \rightarrow \min,$$

$$b_L^j \geq 0, b_R^j \geq 0, j = \overline{0, m}.$$

Так как  $\theta_{\tilde{a}_j, \tilde{X}_j^i}^1(b^j, b_L^j, b_R^j)$  и  $\theta_{\tilde{a}_j, \tilde{X}_j^i}^2(b^j, b_L^j, b_R^j)$  являются кусочно-линейными функциями в области  $b_L^j \geq 0, b_R^j \geq 0, j = \overline{0, m}$ , то  $F$  является кусочно-дифференцируемой функцией, и решения оптимизационной задачи находятся с помощью известных методов.

Считая  $T$ -числа значениями входных и выходных лингвистических переменных, в главе построена квадратичная регрессионная модель:

$$\begin{aligned} \tilde{Y} &= \tilde{a}_1 \tilde{X}_1^2 + \dots + \tilde{a}_m \tilde{X}_m^2 + \tilde{a}_{m+1} \tilde{X}_1 \tilde{X}_2 + \dots + \tilde{a}_{\frac{m(m+1)}{2}} \tilde{X}_{m-1} \tilde{X}_m + \\ &+ \tilde{a}_{\frac{m^2+m+2}{2}} \tilde{X}_1 + \dots + \tilde{a}_{\frac{m(m+3)}{2}} \tilde{X}_m + \tilde{a}_0, \end{aligned}$$

где  $\tilde{a}_k \equiv (b^k, b_L^k, b_R^k), k = 0, \frac{m(m+3)}{2}$  - неизвестные коэффициенты регрессионной модели - треугольные числа, которые определяются аналогично коэффициентам линейной модели. Обозначим через  $[A_1^i, A_2^i], i = \overline{1, n}$  взвешенные отрезки выходных модельных данных  $\hat{Y}_i, i = \overline{1, n}$ , а через  $[B_1^k, B_2^k], k = \overline{1, p}$  взвешенные отрезки формализаций

$\tilde{Y}_k \equiv (y_1^k, y_2^k, y_L^k, y_R^k), k = \overline{1, p}$  лингвистических значений  $Y_k, k = \overline{1, p}$  характеристики  $Y$ . Тогда  $f^2(\hat{Y}_i, \tilde{Y}_k) = (A_1^i - B_1^k)^2 + (A_2^i - B_2^k)^2, i = \overline{1, n}, k = \overline{1, p}$ .

Выходное модельное значение  $\hat{Y}_i$  идентифицируется с лингвистическим значением  $Y_s$ , если  $f^2(\hat{Y}_i, \tilde{Y}_s) = \min_k f^2(\hat{Y}_i, \tilde{Y}_k), k = \overline{1, p}$ .

Построены доверительные интервалы для выходной характеристики регрессионных моделей при заданном уровне возможности (аналоге надежности оценки выходной характеристики). Определены числовые показатели качества разработанных регрессионных моделей.

**В третьей главе** построена модель совокупности формализованных характеристик специалиста и модель рейтингового оценивания на его основе.

Построению предшествует выявление существенных характеристик (на различных этапах обучения), оказывающих влияние на успешность профессиональной деятельности студентов. Для этой цели разработана модель, которая основана на выборе вероятностной или возможностной функции поведения системы характеристик в зависимости от порождающей этими функциями нечеткости.

Рассмотрим  $N$  студентов, у которых оцениваются характеристики  $X_j, j = \overline{1, m}$ , оказывающие существенное влияние на успешность их будущей профессиональной деятельности -  $Y$ . Построим лингвистические переменные с названиями  $X_j, j = \overline{1, m}$ ,  $Y$  и терм-множествами  $X_{lj}, l = \overline{1, m_j}, j = \overline{1, m}$ ,  $Y_l, l = \overline{1, k}$ . Среди  $N$  выпускников выделяем тех, которые получили от экспертов высшие оценки успешности их профессиональной деятельности или оценки  $\mu_k(x) \equiv (y_{k1}, y_{k2}, y_{kL}, y_{kR})$  (например, это выпускники с номерами  $i = \overline{1, M}$  и функциями принадлежности значений характеристик  $X_j, j = \overline{1, k} - \{\mu_j^i(x) \equiv (a_{j1}^i, a_{j2}^i, a_{jL}^i, a_{jR}^i)\}, i = \overline{1, M}, j = \overline{1, m}$ ).

Совокупность формализованных характеристик специалиста определяется в виде совокупности нечетких чисел  $\{\mu_j(x) \equiv (x_{j1}, x_{j2}, x_{jL}, x_{jR})\}, j = \overline{1, m}$ . Обозначим соответственно через  $[A_{j1}^i, A_{j2}^i], i = \overline{1, M}, j = \overline{1, m}$ ,  $[B_{j1}, B_{j2}], j = \overline{1, m}$  и  $[C_1, C_2]$  взвешенные отрезки нечетких чисел с функциями принадлежности  $\{\mu_j^i(x) \equiv (a_{j1}^i, a_{j2}^i, a_{jL}^i, a_{jR}^i)\}, i = \overline{1, M}, j = \overline{1, m}$ ,  $\{\mu_j(x) \equiv (x_{j1}, x_{j2}, x_{jL}, x_{jR})\}, j = \overline{1, m}$  и  $\mu_k(x) \equiv (y_{k1}, y_{k2}, y_{kL}, y_{kR})$ , а через  $[D_1, D_2]$  взвешенный отрезок нечеткого числа, которое получается подстановкой нечетких чисел с функциями принадлежности  $\{\mu_j(x) \equiv (x_{j1}, x_{j2}, x_{jL}, x_{jR})\}, j = \overline{1, m}$  в одну из регрессионных моделей, разработанных во второй главе диссертации (которая имеет лучшие показатели качества). Обозначим  $(C_1 - D_1)^2 + (C_2 - D_2)^2$  через  $\rho_1^2$ , а  $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^m [(A_{j1}^i - B_{j1})^2 + (A_{j2}^i - B_{j2})^2]$  через  $\rho_2^2$ .

Неизвестные параметры функций принадлежности  $\{\mu_j(x) \equiv (x_{j1}, x_{j2}, x_{jL}, x_{jR})\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ , совокупности формализованных характеристик находятся из решения оптимизационной задачи

$$\rho_1^2 + \rho_2^2 \rightarrow \min$$

при условиях:  $x_{j1} - x_{jL} \geq 0, x_{j2} + x_{jR} \leq 1, x_{jL} \geq 0, x_{jR} \geq 0, j = \overline{1, m}$ .

Идентифицируем полученные нечеткие числа (с функциями принадлежности  $\{\mu_j(x) \equiv (x_{j1}, x_{j2}, x_{jL}, x_{jR})\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ) с формализациями лингвистических значений  $X_{lj}$ ,  $l = \overline{1, m_j}, j = \overline{1, m}$  ( $\tilde{X}_{lj}$  с функциями принадлежности  $\mu_{lj}(x)$ ,  $l = \overline{1, m_j}, j = \overline{1, m}$ ). Обозначим взвешенные отрезки нечетких чисел  $\tilde{X}_{lj}$  через  $[Q_{j1}^l, Q_{j2}^l]$ ,  $l = \overline{1, m_j}, j = \overline{1, m}$ .

$$\text{Пусть } f^2(\mu_j(x), \mu_{lj}(x)) = (Q_{j1}^l - B_{j1})^2 + (Q_{j2}^l - B_{j2})^2, l = \overline{1, m_j}, j = \overline{1, m}.$$

Нечеткое число с функцией принадлежности  $\mu_j(x) \equiv (x_{j1}, x_{j2}, x_{jL}, x_{jR})$  идентифицируется с лингвистическим значением  $X_{sj}$  характеристики  $X_j$ , если  $f^2(\mu_j(x), \mu_{sj}(x)) = \min_l f^2(\mu_j(x), \mu_{lj}(x))$ ,  $l = \overline{1, m_j}$ .

Рейтинговую оценку  $n$ -го студента,  $n = \overline{1, N}$  определим следующим образом:

$$r_n = 1 - \sum_{j=1}^m \omega_j \sqrt{\frac{1}{2}(B_{j1} - A_{j1}^n)^2 + \frac{1}{2}(B_{j2} - A_{j2}^n)^2},$$

где  $[B_{j1}, B_{j2}]$ ,  $j = \overline{1, m}$  взвешенные отрезки нечетких чисел, образующих совокупность формализованных характеристик специалиста, а  $[A_{j1}^n, A_{j2}^n]$ ,  $n = \overline{1, N}, j = \overline{1, m}$  взвешенные отрезки оценок  $n$ -го студента.

Разработанная модель позволяет дифференцированно подходить к рейтинговому оцениванию студентов, учитывая специфику выбранной специальности и направление их будущей профессиональной деятельности. Управление на основе рейтинговых оценок, направленное на обеспечение успешности профессиональной деятельности, производится с помощью оператора агрегирования информации, который разработан в пятой главе диссертации.

**Четвертая глава** посвящена моделям рейтингового оценивания студентов, которые вместе с моделью на основе совокупности формализованных характеристик специалиста позволяют повысить достоверность прогноза успешности профессиональной деятельности студентов и адекватность управляющих воздействий.

Разработана модель построения рейтинговых оценок студентов в рамках нескольких качественных характеристик, измеренных в вербальных шкалах. Проводится формализация исходной информации.



Рассмотрим совокупность  $N$  студентов, у которых оцениваются характеристики  $X_j, j = \overline{1, k}$  в рамках вербальных шкал  $X_{lj}, l = \overline{1, m_j}$ . Построим  $k$  лингвистических переменных с названиями  $X_j, j = \overline{1, k}$  и термножествами  $X_{lj}, l = \overline{1, m_j}, j = \overline{1, k}$ . Обозначим через  $\mu_{lj}(x)$  функцию принадлежности нечеткого числа  $\tilde{X}_{lj}$ , соответствующего  $l$ -му терму  $j$ -ой лингвистической переменной,  $l = \overline{1, m_j}, j = \overline{1, k}$ , через  $\tilde{X}_j^n$  и  $\mu_j^n(x) \equiv (a_{j1}^n, a_{j2}^n, a_{jL}^n, a_{jR}^n), n = \overline{1, N}, j = \overline{1, k}$ , оценку  $n$ -го студента в рамках характеристики  $X_j$ , а через  $\omega_j, j = \overline{1, k}$  весовые коэффициенты оцениваемых характеристик  $\sum_{j=1}^k \omega_j = 1$ . Нечеткая рейтинговая оценка  $n$ -го студента,  $n = \overline{1, N}$  в рамках характеристик  $X_j, j = \overline{1, k}$  определяется в виде нечеткого числа  $\tilde{A}_n = \omega_1 \otimes \tilde{X}_1^n \oplus \dots \oplus \omega_k \otimes \tilde{X}_k^n$  или четкого числа  $A_n, n = \overline{1, N}$ , полученного дефаззификацией  $\tilde{A}_n, n = \overline{1, N}$ .

Разработана модель определения рейтинговых оценок студентов в рамках нескольких количественных и качественных характеристик.

Рассмотрим совокупность  $N$  студентов, у которых оцениваются количественные характеристики  $X_j, j = \overline{1, l}$  и интенсивности проявления качественных характеристик  $X_v, v = \overline{l+1, k}$ . В совокупности оцениваемые характеристики оказывают существенное влияние на характеристику  $Y$ -будущая профессиональная деятельность, которая оценивается в рамках шкалы:  $Y_1 = \text{«предельно неуспешная»}$ ,  $Y_2 = \text{«неуспешная»}$ ,  $Y_3 = \text{«средне успешная»}$ ,  $Y_4 = \text{«относительно успешная»}$ ,  $Y_5 = \text{«предельно успешная»}$ .

Построим, используя информацию экспертов, лингвистические переменные с названиями  $X_j, j = \overline{1, l}$  (и функциями принадлежности  $\mu_{ij}(x), i = \overline{1, 5}, j = \overline{1, l}$ ) и  $k-l$  лингвистических переменных с названиями  $X_v, v = \overline{l+1, k}$  (и функциями принадлежности  $\mu_{iv}(x), i = \overline{1, 5}, v = \overline{l+1, k}$ ). Обозначим через  $x_j^n, n = \overline{1, N}, j = \overline{1, l}$  значения характеристик  $X_j, j = \overline{1, l}$  у  $n$ -го студента,  $n = \overline{1, N}$ , а через  $\mu_{ij}(x_j^n), i = \overline{1, 5}, j = \overline{1, l}, n = \overline{1, N}$  степени принадлежности этих значений к термам лингвистической переменной с названием  $X_j, j = \overline{1, l}$ . Обозначим через  $\delta_i(x_v^n), n = \overline{1, N}, v = \overline{l+1, k}, i = \overline{1, 5}$  функцию, которая принимает значение 1, если оценкой  $n$ -го студента в рамках характеристики  $X_v, v = \overline{l+1, k}$  является нечеткое число  $\tilde{X}_{iv}, i = \overline{1, 5}$  (с функцией принадлежности  $\mu_{iv}(x), i = \overline{1, 5}$ ) и значение 0, если оценкой  $n$ -го студента в рамках характеристики  $X_v, v = \overline{l+1, k}$  является нечеткое число  $\tilde{X}_{pv}, p = \overline{1, 5}, p \neq i$ . Обозначим через  $\omega_j, j = \overline{1, k}, \sum_{j=1}^k \omega_j = 1$  весовые

коэффициенты оцениваемых характеристик. Вычислим коэффициенты  $\lambda_i^n = \sum_{j=1}^l \omega_j \mu_{ij}(x_j^n) + \sum_{v=l+1}^k \omega_v \delta_i(x_v^n), i = \overline{1,5}, n = \overline{1,N}$ , которые можно считать весовыми коэффициентами термов характеристики  $Y$  для  $n$ -го студента,  $n = \overline{1,N}$ . Нечеткая рейтинговая оценка  $n$ -го студента,  $n = \overline{1,N}$  в рамках характеристик  $X_j, j = \overline{1,k}$  определяется в виде нечеткого числа  $\tilde{A}_n = \lambda_1^n \otimes \tilde{Y}_1 \oplus \dots \oplus \lambda_5^n \otimes \tilde{Y}_5$ , где  $\tilde{Y}_i \equiv (a_{iL}, a_{i2}, a_{iL}, a_{iR}), i = \overline{1,5}$  - формализации термов  $Y_i, i = \overline{1,5}$ . Четкая рейтинговая оценка  $A_n, n = \overline{1,N}$  получается дефазификацией нечеткого числа  $\tilde{A}_n, n = \overline{1,N}$ .

Для прогноза успешности профессиональной деятельности студентов  $\tilde{A}_n, n = \overline{1,N}$  идентифицируется с одним из чисел  $\tilde{Y}_i, i = \overline{1,5}$ .

Разработаны модель определения рейтинговых оценок и квалификационных уровней студентов по результатам работы в течение семестра в рамках одного предмета и модель определения рейтинговых оценок групп студентов в рамках одной и нескольких качественных характеристик. Модели рейтингового оценивания были использованы для разработки метода нечеткого кластерного анализа результатов студентов с учетом высказываний экспертов относительно важности оцениваемых характеристик для соответствующего кластера. Для формализации лингвистических термов «совсем не важны», «довольно не важны», «не очень важны», «довольно важны», «важны», «очень важны» используются нечеткие числа  $\tilde{C}_1, \dots, \tilde{C}_6$ , без ограничения общности, со следующими функциями принадлежности:

$$\begin{aligned} \mu_1(x) &\equiv (0, 0, 0.2), \mu_2(x) \equiv (0.2, 0.2, 0.2), \\ \mu_3(x) &\equiv (0.4, 0.2, 0.2), \mu_4(x) \equiv (0.6, 0.2, 0.2), \\ \mu_5(x) &\equiv (0.8, 0.2, 0.2), \mu_6(x) \equiv (1, 0.2, 0). \end{aligned}$$

Нечеткие рейтинговые оценки  $n$ -го студента в рамках первой, второй и т. д.,  $r$ -ой группы характеристик были обозначены соответственно через  $\tilde{A}_n^1, \dots, \tilde{A}_n^r$ . Тогда в соответствии с экспертным мнением относительно важности характеристик нечеткое число  $\tilde{R}_n^i$  может быть рейтинговой оценкой  $n$ -го студента в рамках  $i$ -го кластера:

$$\tilde{R}_n^i \equiv \tilde{C}_3 \otimes \tilde{A}_n^1 \oplus \tilde{C}_4 \otimes \tilde{A}_n^2 \oplus \dots \oplus \tilde{C}_6 \otimes \tilde{A}_n^r, n = \overline{1,N}, i = \overline{1,r}.$$

Обозначим функцию принадлежности этого нечеткого числа через  $\mu_n^i(x)$ . Рейтинговые оценки для других кластеров (групп) находятся аналогично в соответствие с экспертными мнениями. Поскольку мы можем получить рейтинговые оценки  $\tilde{R}_n^i, n = \overline{1,N}, i = \overline{1,r}$ . Обозначим через  $\mu_i(n), n = \overline{1,N}, i = \overline{1,r}$  функции принадлежности студентов к рассматриваемым кластерам.

Если  $\sup_n x : \mu_n^i(x) = 1, n = \overline{1,N}$  принадлежит к  $\tilde{R}_k^i(x)$ , тогда  $k$ -ый студент считается типичным представителем  $i$ -го кластера и  $\mu_i(k) = 1$ .

Степени принадлежности  $\mu_i(n), n = \overline{1, N}, n \neq k$  других студентов к этому кластеру находятся следующим образом:  $\mu_i(n) = \max_x \min(\mu_n^i(x), \mu_k^i(x))$ .

Если существует несколько типичных представителей  $i$ -го кластера, например это студенты  $k_1, k_2, \dots, k_p$ , тогда находим степени принадлежности  $\mu_i^l(n), l = \overline{1, p}, i = \overline{1, r}, n = \overline{1, N}, n \neq k_l$  других студентов к  $i$ -му кластеру на основе каждого типичного представителя :

$$\mu_i^l(n) = \max_x \min(\mu_n^i(x), \mu_{k_l}^i(x)),$$

а потом выбираем максимальный из них:

$$\mu_i(n) = \max_l \mu_i^l(n), n = \overline{1, N}, n \neq k_l, l = \overline{1, p}.$$

**В пятой главе** разработан метод построения оператора агрегирования информации (ОАИ) образовательного процесса. Актуальность разработки этого метода подтверждается тем, что принятие решений в условиях неопределенности и многокритериальности является нетривиальной задачей и достаточно часто осуществляется на основе интуиции и опыта исследователей, чем на основе формальных методов.

Характеристики  $X_j, j = \overline{1, m}$  считаются подчиненными характеристике  $Y$ , если  $Y$  приписан некоторый ОАИ, позволяющий на основе значений характеристик  $X_j, j = \overline{1, m}$  вычислять значения  $Y$ . Оператор строится таким образом, что высказывания экспертов о нем и практические результаты его работы не противоречат друг другу.

Если имеется  $k$  значений характеристики  $Y$ , то ОАИ может быть одна из функций  $k$ -значной логики. Обозначим множество таких функций одной переменной через  $P_1^k$ . Обозначим через  $S$  нечеткое условие на поведение функций из  $P_1^k$ .  $S$  может быть представлено в виде нечеткого отношения  $\tilde{S}$ , которое определяется на декартовом квадрате области определения функции и описывает поведение функции, ему удовлетворяющей, на соседних значениях области определения.

*Нечетким бинарным отношением  $\tilde{S}$  на множестве  $X$  называется нечеткое множество  $\tilde{S}$  такое, что  $\forall (x, y) \in X \times X \mu_{\tilde{S}}(x, y) \in [0, 1]$ .*

Как известно, степень нечеткости нечеткого отношения  $\tilde{S}$  равна

$$\xi(\tilde{S}) = \frac{2}{n \cdot m} \sum_{i, j} |\mu_{\tilde{S}}(x_i, y_j) - \tilde{r}_{ij}|, \quad \text{где } \tilde{r}_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } \mu_{\tilde{S}}(x_i, y_j) \leq 0.5 \\ 1, & \text{если } \mu_{\tilde{S}}(x_i, y_j) > 0.5 \end{cases}.$$

Степень принадлежности любой функции  $f \in P_1^k$  рассматриваемому нечеткому условию  $S$  вычисляется на основе некоторой  $t$ -нормы:

$$\mu_S(f) = \bigwedge_{i=1}^{k-1} \mu_{\tilde{S}}(f(i), f(i+1)).$$

Степень нечеткости класса функций  $F_S$ , определяемого условием  $S$  (отношением  $\tilde{S}$ ), вычисляется по формуле:

$$\xi(F_s) = \frac{1}{|F_s|} \sum_{f \in S} (1 - 2 | \mu_S(f) - 0.5 |).$$

Поскольку в общем виде связь между нечеткостью условий и классов функций, определяемых этими условиями, не определена, то выделен специальный класс функций  $k$ -значной логики от  $m$  переменных, обладающих нечетким свойством «слегка-возрастание» или «слегка-убывание». Выбор этого класса также связан с тем, что количество функций, принадлежащих этому классу с ненулевой степенью принадлежности, достаточно ограничено.

В главе разработан метод выбора ОАИ. Показано, что в результате формализации любого числа нечетких и начальных условий, налагаемых на поведение функций  $k$ -значной логики от нескольких переменных, получается матрица нечеткого отношения, описывающая класс функций, удовлетворяющих этим условиям. Функции применяются к реальным данным и результаты их применения сравниваются с априорной экспертной информацией о результатах работы ОАИ. Функции, результаты работы которых, противоречат экспертным высказываниям, отбрасываются, а остальные считаются ОАИ.

**Шестая глава** посвящена разработке модели выбора направления профессиональной деятельности выпускников.

Все характеристики выпускников были разбиты на три группы – характеристики профессиональной подготовки, психофизиологические и личностные характеристики (которые отличаются для различных направлений подготовки). Значениями характеристик профессиональной подготовки являются оценки успеваемости выпускников по соответствующим предметам. Психофизиологические и личностные характеристики оцениваются в рамках шкалы «низкая» - 2 балла, «средняя» - 3 балла, «высокая» - 4 балла, «очень высокая» - 5 баллов. Рассмотрим успеваемость  $N$  выпускников по предметам  $X_j, j = \overline{1, k}$ . Опираясь на статистические данные успеваемости и метод раздела 2.2 диссертации, построим лингвистические переменные с названиями  $X_j, j = \overline{1, k}$ , лингвистические переменные для психофизиологических характеристик с названиями  $Y_m, m = \overline{1, l}$  и лингвистические переменные для личностных характеристик с названиями  $Z_q, q = \overline{1, p}$ . Определим нечеткие рейтинговые оценки в рамках каждой из трех групп характеристик, опираясь на модель раздела 4.2 диссертации. Нечеткие рейтинговые оценки профессиональной подготовки выпускников, их интеллектуального развития и личностных качеств обозначим соответственно через  $\tilde{A}_n, \tilde{B}_n$  и  $\tilde{C}_n, n = \overline{1, N}$ .

Рассмотрим  $r$  направлений деятельности выпускников. По каждому из этих направлений эксперты (работодатели) высказываются о важности характеристик трех рассмотренных выше групп для успешной профессиональной деятельности выпускников. Формализация этих высказываний производится в соответствии с разработанной моделью. Для

формализации лингвистических уровней «совсем не важны», «довольно не важны», «не очень важны», «довольно важны», «важны», «очень важны» используются нечеткие числа  $\tilde{C}_1, \dots, \tilde{C}_6$  из четвертой главы диссертации. Тогда в соответствии с экспертным мнением относительно важности характеристик нечеткое число  $\tilde{R}_n^i$  может быть рейтинговой оценкой  $n$ -го выпускника в рамках  $i$ -го направления его профессиональной деятельности :  $\tilde{R}_n^i \equiv \tilde{C}_{1i} \otimes \tilde{A}_n \oplus \tilde{C}_{2i} \otimes \tilde{B}_n \oplus \tilde{C}_{3i} \otimes \tilde{C}_n$ ,  $n = \overline{1, N}, i = \overline{1, r}$ .

Нечеткие числа  $\tilde{C}_{1i}, \tilde{C}_{2i}, \tilde{C}_{3i}$  равны одному из нечетких чисел  $\tilde{C}_1, \dots, \tilde{C}_6$ . Обозначим функцию принадлежности этого нечеткого числа через  $\mu_n^i(x)$ . Рейтинговые оценки для других направлений профессиональной деятельности выпускников находятся аналогично в соответствии с экспертными высказываниями. Таким образом, мы можем получить рейтинговые оценки  $\tilde{R}_n^i, n = \overline{1, N}, i = \overline{1, r}$  для каждого выпускника в рамках каждого из направлений его будущей профессиональной деятельности.

Поскольку направления профессиональной деятельности выпускников определены нечетко на основе высказываний экспертов, то обозначим через  $\mu_i(n), n = \overline{1, N}, i = \overline{1, r}$  функции принадлежности выпускников к этим направлениям. Если  $\sup_x \mu_n^i(x) = 1, n = \overline{1, N}$  принадлежит к  $\tilde{R}_k^i(x)$ , тогда  $k$ -ый выпускник считается типичным представителем  $i$ -го направления профессиональной деятельности и  $\mu_i(k) = 1$ . Степени принадлежности  $\mu_i(n), n = \overline{1, N}, n \neq k$  других выпускников к этому направлению находятся следующим образом:  $\mu_i(n) = \max_x \min(\mu_n^i(x), \mu_k^i(x))$ . Если существует несколько типичных представителей  $i$ -го направления профессиональной деятельности, например это выпускники  $k_1, k_2, \dots, k_p$ , тогда находим степени принадлежности  $\mu_i^l(n), l = \overline{1, p}, i = \overline{1, r}, n = \overline{1, N}, n \neq k_l$  других выпускников к  $i$ -му направлению на основе каждого из типичных представителей:  $\mu_i^l(n) = \max_x \min(\mu_n^i(x), \mu_{k_l}^i(x))$ , а потом выбираем максимальную из них.

Таким образом, разработанная в главе модель позволяет выработать рекомендации по выбору направления профессиональной деятельности для каждого выпускника на основе максимального соответствия его индивидуальных характеристик совокупности нечетко заданных требований работодателей.

**В седьмой главе** изложены примеры практического применения разработанных в диссертации методов и моделей.

Разработанная в диссертации автоматизированная система была применена к реальным данным. Для прогноза успешности профессиональной деятельности студентов факультета электроники и системотехники ФГБОУ ВПО «Московский государственный университета леса» были выявлены существенные входные характеристики. В результате проведенного исследования были рассмотрены данные успеваемости по следующим

предметам: математика, электротехника, электроника и метрология, стандартизация, сертификация, которые были обозначены соответственно через  $X_i, i = \overline{1,3}$ . В дополнение к показателям успеваемости были рассмотрены: логичность мышления, дисциплинированность и исполнительность, которые были обозначены соответственно через  $X_4, X_5$ . Успешность профессиональной деятельности выпускников была обозначена через  $Y$ .

Были построены линейная комбинированная регрессионная модель:

$$\tilde{Y} = (0.026, 0, 0) + (0.067, 0, 0)\tilde{X}_1 + (0.619, 0.585, 0.507)\tilde{X}_2 + (0.234, 0, 0)\tilde{X}_3 + \\ + (-0.197, 0.105, 0.098)\tilde{X}_4 + (-0.123, 0.034, 0.045)\tilde{X}_5, S = 0.497, HR = 0.623, HS = 0.267$$

и квадратичная комбинированная регрессионная модель:

$$\tilde{Y} = (-0.483, 0, 0)\tilde{X}_1^2 + (0.061, 0, 0)\tilde{X}_3^2 + (0.234, 0, 0)\tilde{X}_5^2 + (-0.121, 0, 0)\tilde{X}_2\tilde{X}_3 + \\ + (-0.256, 0.104, 0)\tilde{X}_1\tilde{X}_4 + (1.022, 1.022, 0)\tilde{X}_1 + (0.283, 0.283, 0)\tilde{X}_2 + \\ + (-0.216, 0.098, 0.116)\tilde{X}_5 + (0.017, 0, 0), S = 0.497, HR = 0.795, HS = 0.237.$$

Как видно из полученных результатов, квадратичная регрессионная модель имеет лучшие показатели, чем линейная модель: аналог коэффициента детерминации  $HR$  у нее больше, а аналог стандартной ошибки  $HS$  меньше, что свидетельствует о лучшем соответствии модельных данных квадратичной модели исходным данным. Модельные выходные данные квадратичной модели на 87% совпадают с реальными выходными данными, а модельные выходные данные линейной модели на 80% совпадают с реальными выходными данными. Исходя из проведенного анализа, квадратичная регрессионная модель была выбрана для построения совокупности формализованных характеристик специалиста:

$$\mu_1(x) \equiv (0.789, 0.789, 0.363, 0.211), \mu_2(x) \equiv (0.155, 0.155, 0, 0.845), \\ \mu_3(x) \equiv (0.68, 0.847, 0, 0.153), \mu_4(x) \equiv (0.746, 0.828, 0.102, 0.118), \\ \mu_5(x) \equiv (0.472, 0.524, 0, 0.124).$$

Эта совокупность была использована для определения рейтинговых оценок студентов. В качестве примера результаты пятнадцати студентов представлены в табл. 1.

Рейтинговые оценки и рейтинг студентов.

Таблица 1

$n$	Рейтинговые оценки	Рейтинг
1	0.284	13
2	0.191	15
3	0.754	2
4	0.647	4
5	0.789	1
6	0.683	3
7	0.403	11
8	0.425	9
9	0.471	6-7
10	0.471	6-7

11	0.411	10
12	0.428	8
13	0.486	5
14	0.195	14
15	0.386	12

Кроме этого были определены рейтинговые оценки студентов на основе разработанной модели и на основе метода сложения балльных оценок. Анализ результатов позволил сделать вывод о том, что рейтинговые оценки на основе разработанного метода значительно расширяют информацию, полученную при вычислении рейтинговых оценок на основе балльных оценок, но и те и другие вычисляются по принципу – чем больше отдельные показатели, тем больше конечный результат. Рейтинговые оценки, полученные на основе совокупности формализованных характеристик специалиста, вычисляются по принципу – чем ближе характеристики студента к этой совокупности, тем больше рейтинговая оценка. Полученные на основе совокупности формализованных характеристик рейтинговые оценки студентов были использованы для выработки управляющих рекомендаций, направленных на достижение успешности их будущей профессиональной деятельности. Значения рейтинговых оценок были разбиты на три интервала -  $[0;0,2]$ ,  $(0,2;0,45]$ ,  $(0,45;1]$ . Если рейтинговая оценка попадает в первый интервал, то для студента разрабатывается комплекс дополнительных занятий и консультаций, в том числе с психологом и куратором группы. Если рейтинговая оценка студента попадает в последний интервал, то дополнительных мероприятий не требуется. Если рейтинговая оценка попадает в средний интервал, то для выработки управляющих рекомендаций используется оператор агрегирования информации, разработанный в пятой главе диссертации.

Блок-схема выбора рекомендаций на основе рейтинговых оценок представлена на рис. 4.



Рис. 4. Блок-схема выбора рекомендаций на основе рейтинговых оценок.

Согласно таблице 1 студентам № 3, 4, 5, 6, 9, 10, 13 не требовалось дополнительных мероприятий, студентам № 2 и № 14 требовался комплекс мероприятий, для остальных студентов были найдены расстояния  $Z_i^n, n = \overline{1,15}, i = \overline{1,5}$  между значениями их характеристик и значений совокупности формализованных характеристик специалиста. Полученные результаты занесены в табл. 2.

Расстояния от значений характеристик студентов до значений формализованных характеристик специалиста

Таблица 2

Студенты	$Z_1^n$	$Z_2^n$	$Z_3^n$	$Z_4^n$	$Z_5^n$
1	0.914	0.254	0.98	0.198	0.526
7	0.914	0.254	0.442	0.164	0.206
8	0.362	0.203	0.442	0.164	0.526
11	0.914	0.202	0.442	0.164	0.526
12	0.362	0.254	0.98	0.164	0.127
15	0.914	0.202	0.98	0.118	0.206

Лингвистическим значениям «малое», «среднее» и «большое» переменных  $Z_i, i = \overline{1,5}$  в соответствие были поставлены интервалы  $[0;0,3]$ ,  $(0,3;0,95]$  и  $(0,95;\sqrt{2}]$ . После согласования с экспертами логическая функция  $F(Z_i, i = \overline{1,5})$  стала принимать три значения – «студент не нуждается в дополнительных мероприятиях», «студент нуждается в дополнительных занятиях», «студент нуждается в дополнительных занятиях и консультациях, в том числе с психологом и куратором группы». Применение этой функции позволило сделать вывод, что студентам № 7, 8, 11 рекомендованы дополнительные занятия, а студентам № 1, 12, 15 рекомендован комплекс мероприятий. Для рекомендации направления профессиональной деятельности были рассмотрены показатели успеваемости и личностных особенностей выпускников Факультета электроники и системотехники ФГБОУ ВПО Московский государственный университет леса. Оценка логичности мышления, точности восприятия, скорости мыслительных процессов, пространственное воображение, грамотность выпускников проводилась с помощью оригинального теста экспресс – диагностики. Кураторы групп проводили экспертное оценивание уровня развития личностных качеств выпускников: общественная активность, дисциплинированность и исполнительность, трудолюбие, выдержанность и самообладание, организаторские способности, авторитет в группе, целеустремленность. Были определены нечеткие рейтинговые оценки по группам характеристик. В качестве примера результаты пяти выпускников занесены в табл. 3.

Рейтинговые оценки выпускников.

Таблица 3

Выпускники	1	2	3	4	5
Нечеткие рейтинговые оценки успеваемости	0.426	0.487	0.519	0.674	0.709
	0.532	0.568	0.686	0.747	0.839
	0.113	0.109	0.106	0.088	0.132
	0.097	0.058	0.113	0.128	0.145



Нечеткие рейтинговые оценки психофизиологических характеристик	0.312	0.271	0.341	0.498	0.613
	0.376	0.342	0.396	0.539	0.698
	0.114	0.094	0.029	0.126	0.115
	0.204	0.126	0.095	0.103	0.118
Нечеткие рейтинговые оценки личностных характеристик	0.574	0.468	0.602	0.732	0.635
	0.598	0.488	0.625	0.768	0.687
	0.104	0.112	0.109	0.096	0.116
	0.136	0.142	0.134	0.094	0.211

Отбор выпускников производился в рамках сформулированных четырех нечетких предпочтений.

$X_1$  - Очень важны показатели успеваемости, очень важны показатели познавательных психофизиологических характеристик и совсем неважны показатели личностных качеств.

$X_2$  - Не очень важны показатели успеваемости, довольно важны показатели познавательных психофизиологических характеристик и очень важны показатели личностных качеств.

$X_3$  - Довольно неважны показатели успеваемости, важны показатели познавательных психофизиологических характеристик и довольно неважны показатели личностных качеств.

$X_4$  - Совсем неважны показатели успеваемости, довольно важны показатели познавательных психофизиологических характеристик и важны показатели личностных качеств.

Для формализации этих нечетких предпочтений были использованы функции принадлежности  $\mu_l(x), l = \overline{1,6}$  чисел  $\tilde{C}_1, \dots, \tilde{C}_6$ . Функции принадлежности рейтинговых оценок успеваемости, психофизиологических и личностных качеств выпускников были обозначены соответственно через  $\eta_j^1(x), \eta_j^2(x), \eta_j^3(x), j = \overline{1,12}$ , после чего были определены нечеткие оценки выпускников  $\tilde{R}_j^i, j = \overline{1,12}, i = \overline{1,4}$ . Например, функции принадлежности  $\mu_{R_j^i}(x), i = \overline{1,4}$  нечетких оценок выпускников из таблицы 3 были определены следующим образом:

$$\begin{aligned} \mu_{R_j^1}(x) &= \mu_6(x) \otimes \eta_j^1(x) \oplus \mu_6(x) \otimes \eta_j^2(x) \oplus \mu_1(x) \otimes \eta_j^3(x) \\ \mu_{R_j^2}(x) &= \mu_3(x) \otimes \eta_j^1(x) \oplus \mu_4(x) \otimes \eta_j^2(x) \oplus \mu_6(x) \otimes \eta_j^3(x), \\ \mu_{R_j^3}(x) &= \mu_2(x) \otimes \eta_j^1(x) \oplus \mu_5(x) \otimes \eta_j^2(x) \oplus \mu_2(x) \otimes \eta_j^3(x), \\ \mu_{R_j^4}(x) &= \mu_1(x) \otimes \eta_j^1(x) \oplus \mu_4(x) \otimes \eta_j^2(x) \oplus \mu_5(x) \otimes \eta_j^3(x), j = \overline{1,5} \end{aligned}$$

Сравнение результатов выпускников было произведено на основе  $\tilde{R}_j^i, j = \overline{1,12}, i = \overline{1,4}$ . Были определены нечеткие множества  $I^i, i = \overline{1,4}$ , заданные на множестве индексов  $\{1, 2, 3, 4, 5\}$ . Значения функций принадлежности  $\mu_i(j)$  этих множеств интерпретированы как характеристики степени доминирования  $j$ -го выпускника в рамках нечетких предпочтений  $X_i, i = \overline{1,4}, j = \overline{1,12}$  или характеристики степени того, насколько  $j$ -ый выпускник считается лучшим в рамках нечетких предпочтений  $X_i, i = \overline{1,4}, j = \overline{1,12}$ .  $k$ -ый выпускник считался лучшим в рамках нечеткого

предпочтения  $X_i$  с характеристикой 1, если  $\sup x : \mu_{R_j^i}(x) = 1$  принадлежал  $\tilde{R}_k^i(x)$ . Значения  $\mu_i(j)$  при  $j \neq k$  были вычислены следующим образом:  
 $\mu_i(j) = \max_x \min(\mu_{R_j^i}(x), \mu_{R_k^i}(x))$ , а полученные результаты занесены в табл. 4.

Характеристики степени доминирования выпускников. Таблица 4.

	1	2	3	4
1	0.53	0.61	0.77	0.79
2	0.45	0.76	0.68	0.66
3	0.73	0.85	0.82	0.83
4	0.96	1	1	1
5	1	1	0.98	1

На основании проведенного анализа выпускнику № 1 рекомендовано распределение  $X_4$ , выпускнику № 2 рекомендовано распределение  $X_2$ , выпускнику № 3 распределение  $X_2$ , выпускнику № 4 распределения  $X_2, X_3, X_4$ , а выпускнику № 5 распределения  $X_1, X_2, X_4$ .

### Основные результаты исследования

Основные научные и практические результаты работы состоят в следующем:

1. Разработана теоретическая модель управления обучением с учетом нечеткой информации, которая является основой для построения автоматизированной системы. Актуальность и значимость модели состоит в том, что многие процессы образовательной среды трудноформализуемы в рамках традиционных подходов, а их характеристики являются нечисловыми и измеряются субъективно с использованием слов профессионального языка. Сущность теоретической модели состоит в разработке с методологических позиций единого подхода к управлению процессом обучения на основе фаззистики.
2. Разработаны методы формализации характеристик студентов, которые позволяют с помощью лингвистических переменных привести разнородные данные к единому виду, корректно оперировать с ними и получать устойчивые конечные результаты. Первый метод опирается на апостериорную статистическую информацию, второй метод на экспертную информацию. Подход к формализованному представлению исходной информации является комбинацией элементов двух теорий: теории нечетких множеств и математической статистики. Определены аналоги ошибок первого, второго рода и аналог показателя надежности для моделей формализации характеристик студентов.
3. Разработаны регрессионные модели для прогноза характеристик студентов на основе нечеткой исходной информации и определены показатели их качества. Модели сочетают в себе элементы классической и нечеткой регрессионных моделей, что позволило

- увеличить процент верного прогноза по сравнению с классическими регрессионными моделями.
4. Разработана модель совокупности формализованных характеристик специалиста на основе обратных связей в построенных регрессионных моделях, которая предназначена для сравнительного анализа с реальными характеристиками студентов и последующей выработки управляющих рекомендаций.
  5. Разработаны модели определения рейтинговых оценок студентов (нечетких, точечных и интервальных с заданным уровнем доверия) на основе лингвистических значений характеристик. Устойчивость окончательных результатов достигается за счет корректного представления (формализации) разнородной информации и корректного оперирования с ней. Разработанные модели использованы для присвоения студентам квалификационных уровней и для кластеризации полученных результатов.
  6. Построена модель многокритериального рейтингового оценивания студентов на основе совокупности формализованных характеристик, позволяющая не только получать числовые рейтинговые оценки, но и дифференцированно подходить к оцениванию, учитывая специфику выбранной специальности.
  7. Разработан метод выбора оператора (функции  $k$ -значной логики) агрегирования информации образовательного процесса, позволивший при выработке управляющих воздействий в условиях неопределенности получать результаты, согласованные с априорной экспертной информацией.
  8. Разработана модель выбора направления профессиональной деятельности студентов на основе максимального соответствия их индивидуальных характеристик совокупности нечетко заданных требований работодателей, которая позволила составить рейтинг студентов по каждому направлению деятельности и рейтинг направлений для каждого студента.
  9. Разработанная совокупность методов и моделей позволяет учитывать случайность и нечеткость одновременно, что играет существенную роль при учете человеческого фактора и его активном влиянии на процессы управления.

### **Основные публикации по теме диссертации**

Материалы исследования нашли отражение в следующих публикациях автора:

В ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях рекомендованных ВАК МОН РФ:

1. Комаров Е.Г., Полещук О.М., Фролова В.А. О нахождении рейтинговых оценок состояния видов растений, произрастающих в сложных

- экологических условиях больших городов // Обозрение прикладной и промышленной математики. - 2003. - Т. 10. - Вып. 1. - С. 175.
2. Комаров Е.Г., Полещук О.М., Поярков Н.Г. Изучение взаимосвязей между качественными признаками при нечеткой исходной информации // Обозрение прикладной и промышленной математики. - 2005. - Т. 12. - Вып. 4. - С. 992-993.
  3. Комаров Е.Г., Поярков Н.Г. Модели обработки информации контрольных мероприятий на этапе довузовской подготовки студентов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. - 2006. - № 1 (43). - С. 175-178.
  4. Домрачев В.Г., Полещук О.М., Комаров Е.Г., Антошина И.В. Разработка системы характеристик качества образовательных информационных ресурсов и шкал для их оценивания // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. -2007. - № 4 (53). - С. 131-137.
  5. Полещук О.М., Комаров Е.Г. Нечеткая логическая модель многокритериального выбора образовательных информационных ресурсов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. -2007. - № 1 (50). - С. 147-151.
  6. Комаров Е.Г. О контроле качества образовательного процесса на основе мониторинга психофизиологических характеристик студентов // Обозрение прикладной и промышленной математики. - 2007. - Т. 14. - Вып. 5. - С. 897-898.
  7. Комаров Е.Г., Поярков Н.Г. Выявление существенных связей между индивидуальными показателями студентов и успешностью их профессиональной деятельности // Обозрение прикладной и промышленной математики. - 2007. - Т. 14. - Вып. 5. - С. 898-899.
  8. Домрачев В.Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М. Мониторинг функционирования объектов на основе нечеткого описания их состояний // Информационные технологии- 2007. – № 11. – С. 46-52.
  9. Комаров Е.Г., Полещук О.М. Мониторинг компетентности студентов с использованием лингвистических переменных // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. -2008. - № 4 (61). - С. 160 -164.
  10. Полещук О.М., Комаров Е.Г. Определение рейтинговых оценок объектов на основе нечеткой исходной информации // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. -2008. - № 6 (63). - С. 180-182.
  11. Домрачев В.Г., Полещук О.М., Комаров Е.Г., Артемьев И. Об определении рейтинговых оценок компетенции студентов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. - 2008. - № 4 (61). - С. 164 -168.
  12. Комаров Е.Г. Обработка экспертных оценок качества образовательных информационных ресурсов на основе лингвистических переменных //

- Обозрение прикладной и промышленной математики. - 2008. - Т. 16. - Вып. 1 - С. 150-151.
13. Полещук О.М., Комаров Е.Г., Поярков Н.Г. Нечеткая кластеризация объектов с качественными характеристиками на основе рейтинговых оценок // Обозрение прикладной и промышленной математики. - 2009. - Т. 17. - Вып. 2 - С. 377-378.
  14. Комаров Е.Г. Распознавание состояний объектов на основе их рейтинговых оценок // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. -2010. - № 5 (74). - С. 171-174.
  15. Комаров Е.Г. Построение систем эталонных характеристик при проведении сравнительного анализа информации образовательного процесса // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. -2010. - № 5 (74). - С.175 -177.
  16. Комаров Е.Г. Модели рейтингового оценивания студентов и их использование для кластерного анализа информации образовательного процесса // Качество. Инновации. Образование, 2010 – №12 . – С. 2-7.
  17. Комаров Е.Г. Модель интеллектуальной поддержки выбора выпускниками вузов направления профессиональной деятельности // Информатизация образования и науки -2011. - № 1 (9). - С. 79-87.
  18. Комаров Е.Г. Построение модели эталонного объекта и рейтинговых оценок на его основе // Информационные технологии- 2011. – №1 (173) . – С. 30-33.

#### Монографии:

19. Полещук О.М., Комаров Е.Г. Методы и модели обработки нечеткой экспертной информации. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 288 с.: ил.
20. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – 237 pp.

#### Публикации в других изданиях:

21. Домрачев В. Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М., Поярков Н.Г. Построение рейтинговых оценок при нечеткой исходной информации // IT – Инновации в образовании. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Петрозаводск, 2005. – С 84-86.
22. Комаров Е.Г., Полещук О.М., Поярков Н.Г. Определение рейтинговых оценок абитуриентов при нечеткой исходной информации // КБД – Инфо – 2005. Материалы научно-практической конференции. – Сочи, 2005. – С. 221–224.
23. Домрачев В.Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М., Поярков Н.Г. Применение методов нечеткого кластерного анализа для улучшения качества проверки экзаменационных работ // КБД –Инфо – 2005. Материалы научно-практической конференции. – Сочи, 2005. – С. 224–226.
24. Домрачев В.Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М., Поярков Н.Г. Формирование предметных комиссий по приему экзаменов на основе нечеткого кластерного анализа// Телематика – 2005. Труды

- Всероссийской научно-методической конференции. - С-Пб., 2005. – Т. 1. - С. 277-279.
25. Комаров Е.Г., Полещук И.А., Поярков Н.Г. Модели обработки информации образовательного процесса на основе методов теории нечетких множеств // Телекоммуникации и информатизация образования. - 2006. - № 2. - С. 69-80.
  26. Домрачев В.Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М., Поярков Н.Г. Обработка данных контрольных мероприятий довузовской подготовки студентов// Телематика – 2006. Труды Всероссийской научно-методической конференции. - С-Пб., 2006. – Т. 2. - С. 336- 338.
  27. Домрачев В.Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М. Модель выбора образовательных информационных ресурсов // Телематика – 2007. Труды Всероссийской научно-методической конференции. - С-Пб., 2007. – Т. 1. - С. 183 - 185.
  28. Комаров Е.Г., Полещук О.М. О функционировании объектов с качественными характеристиками // Телематика – 2007. Труды Всероссийской научно-методической конференции. - С-Пб., 2007. – Т. 2. - С. 375 – 377.
  29. Комаров Е.Г., Полещук О.М. Определение рейтинговых оценок объектов при нечеткой исходной информации // КБД –Инфо – 2007. Материалы научно-практической конференции. – Сочи, 2007. – С. 163-166.
  30. Домрачев В.Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М. Формализация и обработка экспертных оценок качества образовательных информационных ресурсов // КБД –Инфо – 2007. Материалы научно-практической конференции. – Сочи, 2007. – С. 317-319.
  31. Домрачев В.Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М. Распознавание состояний объектов на основе нечетких рейтинговых оценок // Качество, инновации, образование и CALS-технологии. Материалы международного симпозиума. – М.: Фонд «Качество». – 2007. – С. 28-31.
  32. Домрачев В.Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М. Модель профессионального отбора на основе лингвистических переменных // Качество, инновации, образование и CALS-технологии. Материалы международного симпозиума. – М.: Фонд «Качество». – 2007. – С. 31-33.
  33. Комаров Е.Г. Модели обработки данных образовательного процесса // Новые информационные технологии в образовании. Материалы международной научно-практической конференции. - Екатеринбург, 2007. – Ч. 2 – С. 105.
  34. Комаров Е.Г., Полещук О.М. О построении шкал для оценивания характеристик качества электронных учебников // Новые информационные технологии в образовании. Материалы международной научно-практической конференции. - Екатеринбург, 2007. – Ч. 2 – С. 47-48.
  35. O. M. Poleshuk, E. G. Komarov New defuzzification method based on weighted intervals // Proceedings of the 27th International Conference of the

- North American Fuzzy Information Processing Society. - NAFIPS'2008, - New York, New York, May 19-22, 2008.
36. O. M. Poleshuk, E. G. Komarov Multiple hybrid regression for fuzzy observed data // Proceedings of the 27th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. - NAFIPS'2008, - New York, New York, May 19-22, 2008.
  37. Poleshuk O.M., Komarov E.G. Using fuzzy regression analysis in educational process // X Belarussian Mathematical Conference, Minsk, 2008 – V.5 Pp. 69-70.
  38. Poleshuk O.M., Komarov E.G. The determination of students' rating points on fuzzy formalization of initial information basis // Education, science and economics at universities. Integration to international education area. Plock, Poland, 2008, Pp. 67-73.
  39. Poleshuk O.M., Komarov E.G. The determination of the rating points of the students' groups // Education, science and economics at universities. Integration to international education area. Plock, Poland, 2008, Pp. 74-79.
  40. Домрачев В.Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М. Обработка информации образовательного процесса и поддержка принятия решений, направленных на повышение компетенции студентов // Информатизация образования и науки -2009. - № 1. - С. 68-74.
  41. O. Poleshchuk, E. Komarov The determination of rating points of objects with qualitative characteristics and their usage in decision making problems // Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, V. 40, ISSN: 2070-3740, April 2009, P. 313- 317.
  42. O.Poleshchuk, E.Komarov The determination of rating points of objects and groups of objects with qualitative characteristics // Proceedings of the 28th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. ISBN: 978-1-4244-4577-6 - NAFIPS'2009- Cincinnati, Ohio, June 14-17, 2009.
  43. O.Poleshchuk, E.Komarov The determination of students' fuzzy rating points and qualification levels // Proceedings of the 1st International Fuzzy Systems Symposium- FUZZYSS'09 – Ankara, Turkey, 2009, P. 218-224.
  44. O.Poleshchuk, E.Komarov Hybrid fuzzy least-squares regression model for qualitative characteristics // Advances in Intelligent and Soft Computing. – Springer-Verlag. - 2010. - Vol. 68. – Pp. 187-196.
  45. O.Poleshchuk, E.Komarov A nonlinear hybrid fuzzy least-squares regression model// Proceedings of the 28th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society. - NAFIPS'2011- El Paso, Texas, March 18-20, 2011.
  46. Домрачев В.Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М., Ретинская И.В. О стыке образования и бизнеса в развивающемся информационном обществе// Телематика – 2011. Труды Всероссийской научно-методической конференции. - С-Пб., 2011. – Т. 1. - С. 125-126.
  47. Комаров Е.Г. Об автоматизированной системе управления обучением студентов для обеспечения успешности их профессиональной

- деятельности// Телематика – 2011. Труды Всероссийской научно-методической конференции. - С-Пб., 2011. – Т. 1. - С. 126-128.
48. Домрачев В.Г., Комаров Е.Г., Полещук О.М., Санаев В.Г. Комплекс работ по созданию научной базы для разработки образовательных информационных технологий в среде с неопределенными данными// Отраслевая система ЦНИТ: 20 лет на ИТ-рынке России: Сборник статей. – Кемерово, 2011. – С. 200-204.