На правах рукописи

КОМЛЕВ ВЛАДИМИР ВАЛЕРЬЕВИЧ

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ

Специальность 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

ИВАНОВО – 2006 г.

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Нуждин Владимир Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Бобков Сергей Петрович

кандидат экономических наук, доцент
Градусов Денис Сергеевич

Ведущая организация: **Ярославский государственный университет**

Защита состоится 11 ноября 2006 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.063.04 при ГОУ ВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет» по адресу: 153000, г. Иваново, пр. Ф. Энгельса, д. 7, ауд. Г-101

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет».

Автореферат разослан 10 октября 2006 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета С. Е. Дубова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

В настоящее время поиск инновационных образовательных технологий является одним из приоритетных направлений развития и реформирования высшего образования. Вместе с тем, концентрируясь на тех или иных аспектах проблемы и предлагая зачастую интересные ее решения, разработчики не учитывают влияние этих решений на другие элементы процесса обучения и его общую экономическую эффективность. Объясняется это тем, что процесс обучения является чрезвычайно сложным технологическим процессом, в котором многие элементы настолько тесно связаны, что даже незначительное изменение в одних элементах может привести к важным изменениям в других. Кроме того, к сожалению, критерии качества процесса обучения чаще всего носят плохо формализуемый характер, что не позволяет формулировать задачи оптимизации образовательных технологий и управления качеством образования в терминах теории оптимального управления. Ошибочные же стратегии ведут к социальному и экономическому ущербу, причем доля последнего растет при наукоемких образовательных технологиях, сопряженных, как правило, с удорожанием процесса обучения.

Изначально исследование технологий обучения было проведено известными психологами и педагогами И.П. Павловым, В.М. Бехтеревым, А.А. Ухтомским, С.Т. Шацким. В дальнейшем аспекты программированного обучения были рассмотрены Б.Ф. Скиннером, Н.Ф. Талызиной, П.Я. Гальпериным, В.П. Беспалько, проблемы информатизации обучения - В.П. Тихомировым, А.А. Андреевым, Е.С. Полат, И.Г. Кревским, А.М.Бершадским, В.И. Солдаткиным, В.П. Меркуловым, Ю.Б. Рубиным, А.А. Поляковым, А.М. Бурлаковым, Т.П. Ворониной и многими другими. Вопросами оптимизации и управления качеством образования занимались также Ю.К. Бабанский, Ю.С. Васильев, В.В. Глухов, И.П. Подласый, В.Н. Нуждин, М.М. Поташник и другие.

Особенного внимания заслуживает идея математического моделирования образовательных технологий, т.к. эффективное и качественное управление процессом обучения возможно лишь при наличии математических моделей, адекватно описывающих этот процесс. Однако, математические модели, используемые в современных исследованиях, не являются достаточно проработанными: отчасти из-за новизны задач, отчасти из-за сложности объекта моделирования. Интерес к этим исследованиям в настоящее время только увеличивается, что определяет актуальность работы.

Актуальность работы подтверждается также ее выполнением в рамках следующих министерских программ: «Менеджмент качества высшего учебного заведения» (программа Минобразования РФ «Приоритетные направления науки и техники»); «Реструктуризация учебного процесса в вузах России в условиях активизации самостоятельной работы студентов» (программа Минобразования РФ «Научное, научно-методическое обеспечение функционирования и развития системы образования»); «Формирование независимой системы аттестации и контроля качества образования на основе концепции многомерного

управления качеством образовательного учреждения» (программа Минобразования РФ «Научное, научно-методическое и информационное обеспечение модернизации системы образования»); «Разработка структуры автоматизированной системы управления качеством высшего учебного заведения» (задание Национального фонда подготовки кадров).

Целью работы является разработка экономико-математических моделей, алгоритмов структурно-параметрической оптимизации и повышение на их основе качества образовательных технологий.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие *задачи*:

– определить основные понятия математического моделирования и оптимизации образовательных технологий;

– разработать математическую модель знаний студентов, которая позволяла бы отслеживать их преобразование в процессе обучения и контроля;

– разработать математические модели преобразования знаний при обучении и тестировании;

– разработать метод синтеза моделей сложных технологических систем обучения из моделей основных операций;

– провести экспериментальные исследования образовательных технологий с целью идентификации и верификации расчетных моделей;

– для выбранных целевых функций сформулировать и решить задачи поиска оптимальных технологий с учетом заданных ограничений; выбрать и разработать методы решения указанных оптимизационных задач;

– использовать результаты работы на практике для совершенствования и управления качеством образовательных технологий.

Объектом исследования являются образовательные технологии в высшем учебном заведении.

Предметом исследования являются экономико-математические модели сложных образовательных технологий.

Научная новизна результатов заключается в следующем.

1. Разработана математическая модель представления знаний студентов в виде вектора, описывающего доли студентов с разными знаниями.
2. Предложены математические модели преобразования вектора знаний при прохождении операций обучения и контроля.
3. Разработан метод синтеза экономико-математической модели сложных образовательных технологий из моделей ее элементов.
4. Разработана система кодификации структуры и режима образовательной технологии, которая каждому варианту структуры и набору параметров ставит в соответствие код, а по заданному коду восстанавливает схему и режим ее работы.
5. Для предложенной системы кодификации разработан генетический алгоритм режимно-структурной оптимизации образовательных технологий по технико-экономическим целевым функциям.

Практическая ценность

1. Разработана методика восстановления матриц обучения и контроля знаний по опытным данным.
2. Проведены экспериментальные исследования и определен вид матриц обучения и контроля для различных технологических условий.
3. Разработаны практические рекомендации по повышению эффективности образовательных технологий.
4. Результаты работы реализованы при разработке и эксплуатации программных учебно-контролирующих комплексов дистанционного обучения по различным дисциплинам. Разработанные учебно-контролирующие комплексы внедрены в учебный процесс в ИГЭУ, а также в его филиале в г. Радужный.

Автор защищает

1. Информационную модель знаний учащихся и математические модели преобразования знаний при прохождении обучения и контроля.
2. Методику синтеза экономико-математической модели образовательных технологий из моделей ее элементов, систему кодификации технологии и генетический алгоритм ее оптимизации.
3. Систему компьютерной поддержки расчета и оптимизации технологических схем обучения.
4. Методику обработки и результаты экспериментальных исследований влияния технологических условий на процессы обучения и контроля знаний.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты диссертационной работы были представлены и одобрены на международных, всероссийских и региональных конференциях и семинарах:

- V, VI Международная научно-техническая конференция «Информационная среда вуза», Иваново, ИГАСА, 1998, 1999;
- региональная научно-методическая конференция «Проблемы дистанционного обучения», Иваново, ИГХТУ, 2000;
- научно-практическая конференция «Информационные технологии и дистанционное образование», Красноярск, КГТУ, 2000;
- III Всероссийская научная конференция молодых ученых и аспирантов «Новые информационные технологии. Разработка и аспекты применения», Таганрог, ТГРУ, 2000;
- Международная научно-методическая конференция «Качество инженерного образования», Брянск, БГТУ, 2000;
- VIII Международная конференция «Информационные технологии в открытом образовании», Москва, МЭСИ, 2001;
- VIII Международная конференция «Современные технологии обучения», Санкт-Петербург, ЛЭТИ, 2002;
- Международная научно-техническая конференция «Информационные технологии в образовании, технике и медицине», Волгоград, ВолГТУ, 2002;

- II Всероссийская научно-методическая конференция учителей школ и преподавателей вузов «Школа и вуз: достижения и проблемы непрерывного физического образования», Екатеринбург, ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002;
- Международная научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XI Бенардосовские чтения), Иваново, ИГЭУ, 2003;
- Международный научно-технический семинар «Стратегия развития высшей школы и управление качеством образования», Иваново, ИГЭУ, 2003;
- Международный семинар «Образование для всех», Санкт-Петербург, ГОУ ВПО «СПбГУАП», 2005;
- XIX Международная конференция «Математические методы в технике и технологиях ММТТ-19», Воронеж, 2006.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 15 печатных работах общим объемом 3,2 п.л., в том числе вклад соискателя – 1,8 п.л.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы (129 наименований) и приложений. Работа содержит 162 страницы, в том числе 122 страницы основного текста, 3 приложения на 25 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована ее цель, указаны научная новизна, практическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан анализ эволюции сущности определения технологии обучения, выделены исторические этапы развития, принципы построения и тенденции развития технологий обучения применительно к традиционным системам обучения. Рассмотрены основные подходы к толкованию понятий «образование», «обучение», «технология обучения», «образовательная технология» в работах отечественных исследователей – И.П. Павлова, В.М. Бехтерева, А.А. Ухтомского, С.Т. Шацкого, В.П. Беспалько, Н.В. Масловой, Т.С. Назаровой, Э.Н. Короткова, В.В. Глухова, Ю.С. Васильева, Т.П. Ворониной, Ю.Г.Фокина, М.Г. Гарунова, Л.Г. Семушиной, О.П. Молчановой, и др. Отмечено, что технология обучения разрабатывается для достижения заданных показателей качества при минимальных затратах сил и средств.

Подчеркнута важность применения технических средств обучения не как дополнения к учебному процессу, а как устройств, берущих на себя некоторые функции преподавателя. Рассмотрена концепция программированного обучения, предложенная Б.Ф. Скиннером и проработанная отечественными и зарубежными специалистами, в том числе Н.Ф. Талызиной, П.Я. Гальпериным,

В.П. Беспалько и др. Основная ее идея заключается в стремлении повысить эффективность управления процессом обучения на базе кибернетического подхода и принципов математической логики.

Показано, что учебным процессом можно управлять как сложной технической системой. При этом эффективное и качественное планирование и управление процессом обучения возможно лишь при наличии математических моделей, адекватно описывающих этот процесс. Проведен анализ современных исследований в сфере моделирования автоматизированного обучения и рассмотрены некоторые модели, применяемые в практических разработках. Среди них:

- графовые модели;
- модели, основанные на теории конечных автоматов Мура и нечетких недетерминированных автоматов;
- модели на базе формализмов раскрашенных сетей Петри;
- вероятностные модели;
- модели, основанные на принципах математической статистики.

Отмечена безусловная ценность предложенных математических моделей при проектировании систем автоматизированного обучения (САО), т.к. они позволяют наглядно представить образовательную технологию и порядок прохождения отдельных этапов. Однако такие подходы не позволяют прогнозировать изменение знаний учащихся в образовательных технологиях. Кроме того, существующие модели ориентированы большей частью на использование в САО при индивидуальном обучении и неприменимы для традиционного группового обучения.

Проанализированы работы отечественных ученых, посвященные различным аспектам оптимизации образовательных технологий. Отмечено, что в настоящее время построение учебного процесса базируется в основном на экспертных оценках, что вносит значительную долю субъективизма при принятии решений. Поэтому необходимо вводить критерии эффективности образовательных технологий для их оптимизации.

С позиций управления качеством образования в ВУЗе рассмотрено качество образовательного процесса как неотъемлемого компонента системы. Эвристическая ценность понятия качества процесса обучения зачастую сталкивается с трудностями его измерения и формализации. Здесь даже попытка математического описания технологий обучения позволяет специалистам находить общий язык при постановке и решении проблем управления качеством образования.

Проведенный анализ состояния дел в области моделирования и оптимизации образовательных технологий позволил конкретизировать цели и основные задачи исследования.

Во второй главе предложен метод матричного моделирования эволюции знаний учащихся в различных образовательных технологиях. Рассмотрен единый информационный подход к моделированию образовательной технологии, который включает в себя моделирование знаний студентов и процессы преобразования этих знаний при обучении, при тестировании и при реализации неко-

торой совокупности этих операций внутри технологической системы обучения (ТСО).

Информационную модель знаний студентов (вектор знаний) предложено описывать распределением студентов по классам знаний и записывать в виде матрицы-столбца. Численное значение элементов данной матрицы f_i для группы студентов показывает долю студентов, относящихся к i-му уровню знаний. Каждому уровню может, например, соответствовать доля или число успешно выполняемых заданий из общего их набора. Матрица $\mathbf{f} = \{f_i\}$ имеет размер $(n \times 1)$, где n – число классов знаний. При этом f_1 – доля студентов, уровень знаний которых близок к нулю, f_n – доля студентов, с максимальным уровнем знаний.

Вектор знаний, таким образом, соответствует распределению студентов по уровням знаний. Условие нормировки вектора знаний имеет вид

$$\sum_{i=1}^{n} f_i = 1. \qquad (1)$$

При обучении объем знаний и навыков студентов увеличивается, и число решаемых ими задач растет. При этом изменяются значения элементов вектора знаний. Идеальным будем называть такое обучение, при котором студенты с любыми исходными знаниями после обучения могут решить все задачи контроля. На практике знания студентов увеличиваются по сравнению с исходными, но не достигают максимального уровня. Для описания трансформации знаний предложена матричная модель обучения, которая по известному вектору знаний до обучения позволяет рассчитать вектор знаний после него. Матричное уравнение обучения имеет вид

$$\mathbf{f''} = \mathbf{B} \times \mathbf{f'}, \qquad (2)$$

где $\mathbf{f'}$, $\mathbf{f''}$ – распределение студентов по знаниям (вектор знаний) до и после обучения соответственно, $\mathbf{B} = \{b_{ij}\}$ – матрица обучения размера $n \times n$, n – число уровней, $i, j = 1,2,...,n$. Значение элемента матрицы обучения b_{ij} показывает долю студентов, которые, находясь до обучения в j-ом классе знаний, после обучения перешли в i-ый класс.

Условие нормировки для матрицы обучения имеет вид

$$\sum_{i=1}^{n} b_{ij} = 1. \qquad (3)$$

Для процесса обучения матрица $\mathbf{B}$ является нижней треугольной, для забывания (уменьшения знаний со временем) – верхней треугольной. Если забывание материала и обучение происходят одновременно, то матрица B – квадратная.

При контроле проверяется уровень знаний и осуществляется разделение студентов на два потока по признаку «знает - не знает». Качество контроля тем выше, чем меньше студентов получает незаслуженные оценки. Истинные знания определяются объемом всех знаний студента по предмету. Выявить эти знания возможно при тестировании по всем контрольным вопросам, которое провести с каждым студентом в системе высшего образования не представляется возможным. При реальном тестировании студенту предлагается ограниченная выборка контрольных тестов, по результатам решения которых, студенту выставляется оценка. Очевидно, что такая оценка может носить случайный и не всегда объективный характер. Поэтому для описания процесса контроля знаний воспользуемся вероятностной характеристикой – диагональной матрицей контроля, значения элементов которой c_{ii} показывают вероятность успешного прохождения контроля студентами i-го класса знаний. Очевидно, что для студентов с разными знаниями (из разных классов знаний) эти вероятности будут различаться. Вектор знаний студентов после контроля может быть определен следующим образом

$$\begin{aligned} \mathbf{f_2} &= (\mathbf{I} - \mathbf{C}) \times \mathbf{f'}, \\ \mathbf{f_3} &= \mathbf{C} \times \mathbf{f'}, \end{aligned} \qquad (4)$$

где $\mathbf{f_2}$, $\mathbf{f_3}$ – вектора знаний для студентов, непрошедших и прошедших контроль, соответственно, $\mathbf{I}$ – единичная матрица, $\mathbf{f'}$ – исходное распределение студентов по знаниям, $\mathbf{C}$ – матрица контроля

$$\mathbf{C}=\begin{pmatrix} c_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{nn} \end{pmatrix}.$$

Распределения $\mathbf{f_2}$ и $\mathbf{f_3}$ получаются ненормированными, то есть сумма всех элементов каждой из матриц не равна единице. Для нормировки необходимо разделить каждый элемент вектора на сумму элементов в каждом векторе. В дальнейшем при анализе технологических схем будем пользоваться ненормированными распределениями.

Синтез математических моделей отдельных технологических операций позволил создать математическое описание всей образовательной технологии.

Пусть имеется произвольная технологическая схема обучения, которая включает n операций обучения и тестирования. В общем случае студенты могут направляться на любую операцию технологической схемы обучения (ТСО). Внешние для ТСО потоки студентов будем описывать вектором знаний $\mathbf{f_{0i}}$, где i – номер элемента ТСО. В общем случае на вход i-го элемента могут подаваться потоки от остальных $(n-1)$ элементов схемы.

Балансовое уравнение по потокам для узла смешения перед i-ым элементом записывается аналогично первому закону Кирхгофа для электрических цепей – входящие потоки суммируются, а выходящие вычитаются:

$$\mathbf{K}_{i,1}\mathbf{f'}_1 + \mathbf{K}_{i,2}\mathbf{f'}_2 + \ldots + \mathbf{K}_{i,i-1}\mathbf{f'}_{i-1} + \mathbf{K}_{i,i+1}\mathbf{f'}_{i+1} + \ldots + \mathbf{K}_{i,n}\mathbf{f'}_n + \mathbf{f}_{0i} - \mathbf{f'}_i = 0, \qquad (5)$$

где $\mathbf{f'}_L$ – вектор знаний на входе в элемент с номером L; $\mathbf{K}_{i,L}$ – квадратная матрица технологической операции; произведение $\mathbf{K}_{i,L}\mathbf{f'}_L$ – вектор знаний студентов, которые направляются из элемента L в i-й элемент; $\mathbf{f}_{0i}$ – внешний для ТСО вектор знаний.

Запишем уравнение (5) через матричное произведение в виде

$$\begin{pmatrix}\mathbf{K}_{i,1} & \mathbf{K}_{i,2} & \ldots & \mathbf{K}_{i,i-1} & -\mathbf{I} & \mathbf{K}_{i,i+1} & \ldots & \mathbf{K}_{i,n}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\mathbf{f'}_1\\ \mathbf{f'}_2\\ \ldots\\ \mathbf{f'}_n\end{pmatrix} = -\mathbf{f}_{0i}. \qquad (6)$$

Уравнения, аналогичные (6), для каждого элемента схемы представим в виде системы n линейных матричных уравнений

$$\begin{pmatrix}-\mathbf{I} & \mathbf{K}_{12} & \mathbf{K}_{13} & \ldots & \mathbf{K}_{1n}\\ \mathbf{K}_{21} & -\mathbf{I} & \mathbf{K}_{23} & \ldots & \mathbf{K}_{2n}\\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots\\ \mathbf{K}_{n1} & \mathbf{K}_{n2} & \mathbf{K}_{n3} & \ldots & -\mathbf{I}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\mathbf{f'}_1\\ \mathbf{f'}_2\\ \ldots\\ \mathbf{f'}_n\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}-\mathbf{f}_{01}\\ -\mathbf{f}_{02}\\ \ldots\\ -\mathbf{f}_{0n}\end{pmatrix}, \qquad (7)$$

или

$$\mathbf{K} \times \mathbf{F'} = -\mathbf{F}_0, \qquad (8)$$

где $\mathbf{K}$ – блочная матрица размера $(n \times n)$ блоков, определяющая структуру и состав технологической схемы обучения, $\mathbf{F'}$ – блочная матрица размера $(n \times 1)$ блоков, описывающая вектор знаний на входе в n элементов схемы, $\mathbf{F}_0$ – блочная матрица из внешних для ТСО векторов знаний.

Каждый столбец блочной матрицы $\mathbf{K}$ относится к одному элементу схемы. Операция обучения имеет один вход и один выход, поэтому относящийся к ней столбец матрицы $\mathbf{K}$ может включать не более двух ненулевых блоков. Классификатор имеет один вход и два выхода, при этом соответствующий столбец матрицы может содержать не более трех ненулевых блоков.

Решение системы линейных уравнений (7) позволяет определить вектор знаний студентов на каждом этапе ТСО, а также ставить и решать задачи оптимального управления образовательной технологией.

В третьей главе предложен энтропийный метод моделирования процесса обучения и представлены результаты экспериментального исследования матриц обучения и контроля знаний в условиях вузовского образования.

Процесс обучения определяется совокупностью как детерминированных, так и случайных факторов, которые практически невозможно формализовать и описать в рамках детерминированных подходов. Наиболее перспективным подходом для описания подобных процессов является, на наш взгляд, использование принципа максимума информационной энтропии. Преимущество данного подхода заключается в отыскании варианта решения, которому соответствует максимальная вероятность реализации процесса. При этом детерминированные и хорошо формализуемые факторы, влияющие на процесс, учитываются через соответствующие ограничения.

Для моделирования процесса обучения принцип максимума энтропии записывается в виде

$$H = -\sum_{i,j} b_{ij} \ln b_{ij} \Rightarrow \max, \qquad (9)$$

где H – информационная энтропия, b_{ij} – вероятность перехода студента из j-го класса знаний в i-ый после обучения.

Студент после обучения переходит в новый класс знаний или остается в исходном. Суммарная вероятность оказаться в одном из классов знаний равна единице, что запишем в виде первого ограничения

$$\sum_{i=1}^{n} b_{ij} = 1. \qquad (10)$$

Считаем, что затраты на обучение (финансовые или временные) пропорциональны приобретенным знаниям. В качестве гипотез предложено несколько вариантов оценок затрат на обучение z_{ij}.

Суммарные затраты на обучение Z запишем в качестве второго ограничения

$$\sum_i \sum_j b_{ij} f_j z_{ij} = Z. \qquad (11)$$

Решение оптимизационной задачи (9) с ограничениями (10) и (11), полученное методом неопределенных множителей Лагранжа, имеет вид

$$b_{ij} = \exp(\lambda_j + \mu f_j z_{ij}), \qquad (12)$$

где λ, μ – неопределенные множители Лагранжа.

Для экспериментального определения матрицы обучения были проведены специальные исследования и разработана методика обработки полученных данных. В нескольких группах студентов до и после обучения проводился контроль знаний, базирующийся на определенном количестве заданий. Оценки каждого студента по каждой задаче теста в двоичной системе (1–решил, 0–не решил) заносили в таблицу, в которой строка соответствовала номеру студента по списку, столбец – номеру задания. Далее данные обрабатывались, и подсчитывалось число решаемых задач для каждого из студентов.

В зависимости от числа решаемых задач определялись пятибальные оценки. Суммируя число переходов студентов из одного класса знаний в другой (от «четверки» к «пятерке», от «тройки» к «четверке» и т.д.) и нормируя значения по столбцам, получаем экспериментальные матрицы обучения **B**. Сопоставление результатов экспериментальных и расчетных исследований матрицы обучения свидетельствуют об удовлетворительном описании процесса в рамках энтропийного подхода.

Матрица контроля носит вероятностный характер. При идеальном контроле реализуется безошибочное разделение на знающих и незнающих студентов. Когда знающими считаются студенты, решающие две и более задач, матрица идеальной классификации имеет вид

$$\mathbf{C}=\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \qquad (13)$$

Данная матрица показывает, что вероятность пройти контроль для студентов, умеющих решать ноль и одну задачу, равна нулю, а студенты, решающие две и более задач, проходят контроль с вероятностью равной единице. Однако всякий реальный контроль допускает его успешное прохождение незнающими студентами и непрохождение знающими. Пример матрицы классификации для реального контроля приведен ниже

$$\mathbf{C}=\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \qquad (14)$$

Экспериментальное определение матрицы контроля осуществлялось по следующей методике. Группе студентов предлагалось пройти тестирование по ограниченной выборке контрольных тестов из определенной темы. В результате определялись прошедшие и непрошедшие контроль студенты. После этого той же группе было предложено пройти тест по всем контрольным вопросам. Результаты этого тестирования считались истинными знаниями студентов по данной теме. Сопоставляя результаты исследований, получили матрицы классификации для реального контроля.

В четвертой главе предложена система кодификации структуры ТСО, которая позволяет по заданной схеме формировать код или по заданному коду однозначно восстанавливать схему. Разработанный принцип кодификации заключается в следующем. Код состоит из ячеек, разделенных знаками (например, точками). Каждая ячейка соответствует предварительно пронумерованным элементам схемы; возрастание номера идет справа налево. Если кодируемый элемент – обучение, то в ячейке размещается одно число, соответствующее

элементу, в который из нее направляется поток. Если кодируемый элемент – контроль знаний, то чисел два: справа номер элемента, в который уходит поток студентов, сдавших контроль, слева – номер элемента, в который уходит поток студентов, несдавших тест. Если после элемента один или несколько потоков покидают схему, то в соответствующем месте ставим нуль.

На рис. 1 приведены схемы, матричные модели и коды схем, построенные по указанным правилам.

Особенностью моделирования схемы (б) является введение искусственного элемента (обучения) на выходе из нее. Матрица этого обучения не участвует в построении матрицы $\mathbf{K}$, а вектор знаний на входе в нее $\mathbf{f_4}$ соответствует вектору знаний на выходе из схемы, причем $\mathbf{f_4}$ получается непосредственно из решения матричного уравнения.

Таким образом, предложенный подход позволяет кодировать любую структуру технологической схемы обучения и автоматизировать процедуру составления ее матричной математической модели.

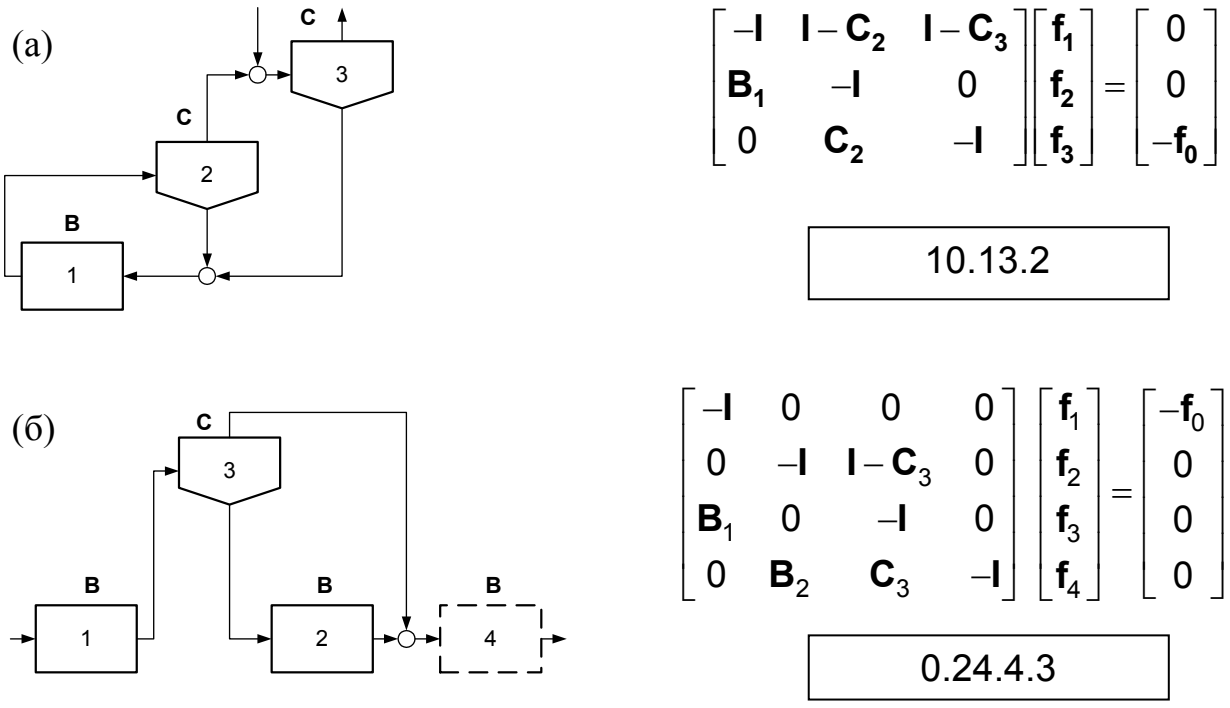


Рис. 1. Варианты (а)-(б) схем, матричные модели технологических систем обучения и коды: В – операция обучения, С – контроля знаний

Автоматизация составления матричной модели схемы не снимает, однако, вопроса о приемлемом расчетном времени оптимизации ее структуры. При достаточно большом числе элементов и классов знаний оптимизация структуры системы обучения прямым перебором расчетных вариантов даже при фиксированных матрицах отдельных элементов, а тем более при их итеративной корректировке, требует значительных временных и вычислительных ресурсов.

В последнее время все более широкое распространение получают специальные стратегии поиска наилучших структур сложных систем. В настоящей работе к оптимизации структуры применена одна из таких стратегий – генетический алгоритм, суть которого заключается в следующем. Сначала случайным образом генерируют коды нескольких схем (начальную популяцию) и сортируют их по рассчитанным значениям в соответствии с заранее выбранной целевой функцией. Затем из популяции, также случайным образом, выбирают две схемы (родителей) и скрещивают их между собой. Естественно, что возможны различные варианты обмена генами (элементами кода) при скрещивании. В данной работе использован один из простейших вариантов скрещивания – обмен частями кодов. В результате обмена получают схемы-потомки, целевые функции при которых рассчитываются по той же автоматизированной модели. Процедура скрещивания показана на рис. 2. В популяции оставляют наиболее эффективные, с точки зрения целевой функции, схемы.

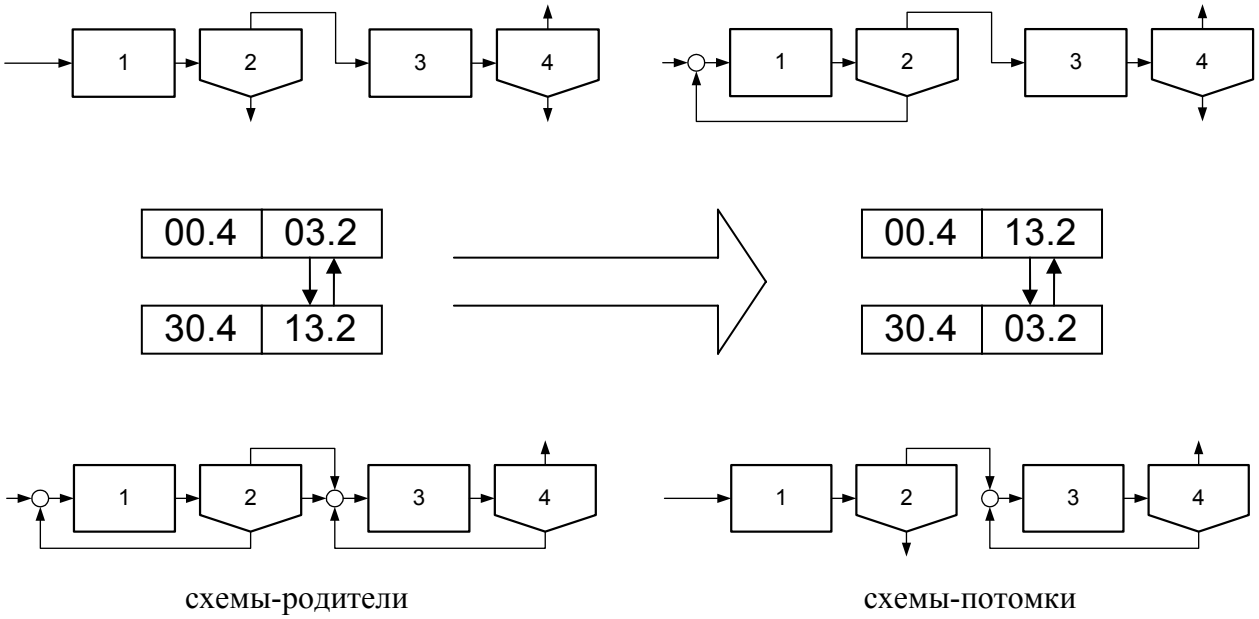


Рис. 2. Процедура обмена элементами кода

Скрещивание повторяют или заданное число раз, или до получения схем с требуемым значением целевой функции. Сохранение и закрепление полезных качеств у потомства позволяет существенно уменьшить время решения оптимизационной задачи по сравнению с методами чисто случайного поиска, например методом Монте–Карло.

В качестве целевых (решающих) функций оптимизации были выбраны следующие: доля отличников, доля успевающих, острота разделения, доля сдавших, доля несдавших, функция затрат, удельные затраты на долю сдавших с положительной оценкой, удельные затраты на долю сдавших.

Доля отличников и доля успевающих характеризуют качество образовательных технологий: чем выше эти показатели, тем лучшими знаниями обладают студенты на выходе из ТСО. Острота разделения позволяет оценить, насколько точно происходит классификация на знающих и незнающих студентов в ТСО. Всякий реальный контроль допускает его успешное прохождение незнающими студентами и непрохождение знающими. Поэтому введены решающие функции «доля сдавших» и «доля несдавших», показывающих существующие дефекты полученных технологических систем обучения. Функция затрат рассчитывается как сумма массопотоков в ТСО и позволяет косвенно оценить финансовые, временные и др. затраты на обучение.

Последние две функции показывают насколько эффективны полученные ТСО с точки зрения соотношения затрат и достигаемого качества обучения.

Структурная оптимизация была проведена для технологических систем обучения, состоящих из четырех, пяти, шести и семи элементов.

Анализ результатов оптимизации по указанным решающим функциям позволил выделить следующее.

1. Как и следовало ожидать, наибольшая доля отличников и успевающих, а, следовательно, и качество готового «продукта» возрастает с увеличением количества операций обучения в ТСО. Так, если в ТСО из четырех операций обучения доля отличников составляет 0.7 и доля успевающих 0.87, то ТСО из семи операций обучения позволяют достичь соответственно значений 0.97 и 0.99.

2. Другим способом повышения качества обучения является введение обратной связи, при которой не прошедшие контроль студенты направляются на повторное обучение. Пример такой схемы, соответствующей коду 60.13.7.15.4.06.6, показан на рис. 3.

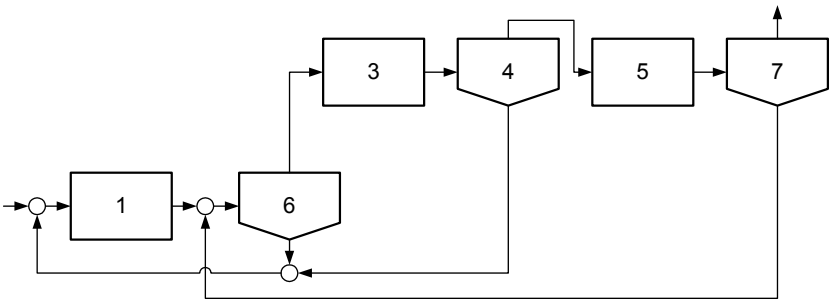


Рис. 3. ТСО из трех операций обучения и трех контроля с обратной связью

3. Качество подготовки студентов связано с затратами на обучение: чем выше качество, тем выше и затраты. В зависимости от поставленной задачи (повышение качества обучения, снижение затрат, оптимальное сочетание качества обучения и затрат) можно выбрать схему, которая наилучшим образом позволяет достичь цели. В связи с этим встает задача многокритериального выбора, решением которой является, как правило, не единственная точка, а целое множество оптимальных по Парето (так называемых эффективных) точек. На рис. 4 показан график Парето для ТСО из четырех операций в системе координат «Доля успевающих студентов» - «Затраты на обучение».

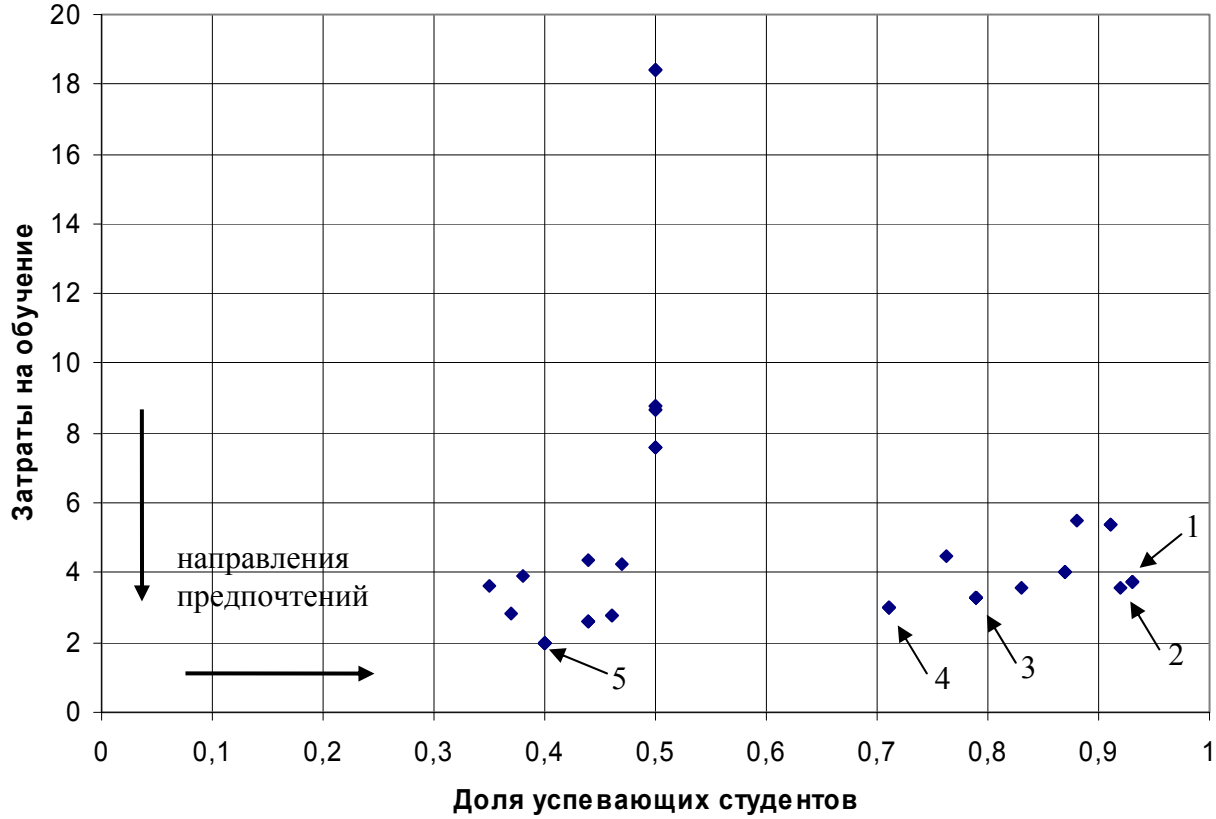


Рис. 4. График Парето в системе координат «Доля успевающих студентов» - «Затраты на обучение» для ТСО из четырех операций

В данном случае целями является уменьшение затрат (целевая функция F_6) и увеличение доли успевающих студентов (целевая функция F_2), поэтому можно рассматривать только точки 1-5, откинув остальные, т.к. они заведомо хуже указанных.

Точки 1-5, в свою очередь, образуют группу точек, сравнимых между собой по показателям F_2 и F_6, т.к. в любой паре одна точка лучше другой по одному показателю, но хуже по другому.

Точка 1, соответствующая схеме с кодом 10.4.04.3, обеспечивает большую долю успевающих студентов по сравнению с остальными схемами (F_2=0,93), однако достаточно дорогая (F_6=3,76).

Точка 2, с кодом 30.4.03.3, несколько дешевле (F_6=3,58), однако немного уступает предыдущей схеме в плане качественной подготовки студентов.

С другой стороны, точка 5, соответствующая схеме с кодом 00.2.1.4, требует наименьших затрат (F_6=2), но и доля успевающих студентов сокращается примерно в 2,3 раза по сравнению со схемой 10.4.04.3. В зависимости от максимального уровня затрат и необходимого качества обучения можно сделать выбор наиболее оптимальной в данном случае схемы.

После проведения структурной оптимизации автоматизированный алгоритм расчета схем и алгоритм генетической оптимизации были модифицированы для проведения структурно-параметрической оптимизации.

В соответствии с такими алгоритмами блоки обучения и контроля могут быть различных типов (например, лекция, семинар, лабораторная работа, тест, зачет, экзамен). Соответственно, различаются матрицы обучения и контроля.

Таким образом, на первый план выходит задача накопления статистики и определение реальных матриц обучения и контроля для различных технологических условий с целью их дальнейшего использования при определении оптимальных ТСО.

Предложенные модели и методы использованы на практике при разработке программных учебно-контролирующих комплексов дистанционного обучения по различным дисциплинам – физике, математике, электротехнике, культурологии, истории, философии, общей экономической теории и др.

В качестве примера в диссертации рассмотрен программный комплекс для организации самостоятельной работы студентов и дистанционного обучения физике. Программный комплекс состоит из следующих подсистем: гипертекстового учебника, включающего в себя удобно структурированную и снабженную ссылками между различными частями текстовую информацию, мультимедийные вставки; подсистемы демонстрации основных физических законов и явлений; подсистемы, предоставляющей пользователю возможность выполнения лабораторных и практических работ на виртуальных стендах; подсистемы проверки и контроля знаний; подсистемы интерактивного решения задач; подсистемы накопления статистики и управляющего модуля для выбора оптимальной образовательной технологии. Оптимальное сочетание различных обучающих и контролирующих модулей позволяет достичь максимального качества обучения при финансовых и временных ограничениях.

Разработанные учебно-контролирующие комплексы внедрены в учебный процесс в Ивановском государственном энергетическом университете, а также в его филиале в г. Радужный.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана математическая модель представления знаний студентов в виде вектора, описывающего доли студентов с разными знаниями.
2. Разработана матричная математическая модель преобразования знаний студентов при операциях обучения и контроля (тестирования).
3. Предложен метод синтеза экономико-математической модели сложной технологической системы обучения из моделей отдельных операций.
4. Для различных структур целевой функции сформулирована задача выбора оптимальной образовательной технологии, и предложено ее решение при помощи разработанной системы кодификации и генетического алгоритма.

5. Проведены экспериментальные исследования и определены матрицы обучения и контроля при различных технологических условиях. Показано влияние условий проведения обучения и контроля на эффективность этих процессов.
6. Разработаны методика восстановления матриц обучения и контроля по экспериментальным данным и компьютерные средства ее поддержки.
7. Результаты работы использованы на практике при разработке учебно-контролирующих комплексов дистанционного обучения.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Комлев, В. В. Математическое моделирование и структурная оптимизация образовательных технологий / В. В. Комлев, В. П. Жуков, В. Е. Мизонов, Г. Г. Кадамцева // Вестник ИГЭУ. – 2006. – № 3. – С. 55-58.
2. Комлев, В. В. Структурная оптимизация и управление качеством образовательных технологий / В. В. Комлев, В. П. Жуков, В. Е. Мизонов, Г. Г. Кадамцева // Современные наукоемкие технологии. – 2006. – №1. – С. 20-23.
3. Комлев, В. В. Использование технологии JAVA при моделировании физических процессов и явлений / В. В. Комлев // Информационная среда вуза: сб. ст. к V международной научно-технической конф. / ИГАСА – Иваново, 1998. – С. 44-45.
4. Комлев, В. В. Использование компьютерных лабораторных практикумов при изучении курса физики / В. В. Комлев // Информационная среда вуза: сб. ст. к VI международной научно-технической конф. / ИГАСА – Иваново, 1999. – С. 40-42.
5. Комлев, В. В. Моделирование физических процессов и явлений в системах дистанционного обучения / В. В. Комлев // Проблемы дистанционного обучения: материалы региональной научно-методической конференции / ИГХТУ. – Иваново, 2000. – С.32.
6. Кадамцева, Г. Г. Оптимизация структуры вузовского образования / Г. Г. Кадамцева, В. П. Жуков, В. Е. Мизонов, В. В. Комлев // Математические методы в технике и технологиях ММТТ-19: тез. докл. XIX Международной конференции. – Воронеж, 2006.
7. Кадамцева, Г. Г. Комплекс программ для автоматизированного создания и сопровождения виртуальных лабораторных практикумов / Г. Г. Кадамцева, В. В. Комлев // Информационные технологии в образовании, технике и медицине: сб. науч. трудов международной научно-технической конференции, часть 1 / ВолГТУ. – Волгоград, 2002. – С. 123-126.
8. Кадамцева, Г. Г. Мультимедийный учебно-методический комплекс для управления качеством обучения физике / Г. Г. Кадамцева, В. В. Комлев // Школа и вуз. Достижения и проблемы непрерывного физического образования: тез. докл. Второй Всероссийской научно-методической кон-

ференции учителей школ и преподавателей вузов / ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. – Екатеринбург, 2002. – С. 71.

9. Кадамцева, Г. Г. Учебно-методический комплекс для управления качеством обучения физике и математике / Г. Г. Кадамцева, В. В. Комлев // Состояние и перспективы развития электротехнологии: материалы международной научно-технической конференции XI Бенардосовские чтения, том 2 / ИГЭУ. – Иваново, 2003. – С. 217.
10. Кадамцева, Г. Г. Комплекс программ для организации дистанционного обучения курсу физики / Г. Г. Кадамцева, В. В. Комлев // Информационные технологии и дистанционное образование: материалы научно-практической конференции / КГТУ. – Красноярск, 2000. – С. 10-11.
11. Кадамцева, Г. Г. Программный комплекс для организации интерактивного тестирования абитуриентов / Г. Г. Кадамцева, В. В. Комлев, Е. А. Сироткин // Стратегия развития высшей школы и управление качеством образования: сб. науч. трудов к международному научно-техническому семинару / ИГЭУ. – Иваново, 2003. – С. 85-87.
12. Кадамцева, Г. Г. Участие вуза в подготовке к единому государственному экзамену / Г. Г. Кадамцева, В. В. Комлев // Образование для всех: материалы международного семинара / ГОУ ВПО «СПбГУАП». – СПб, 2005. – С. 93-94.
13. Кадамцева, Г. Г. Комплекс программ для организации индивидуального обучения и контроля знаний по физике / Г. Г. Кадамцева, В. В. Комлев // Информационные технологии в открытом образовании: материалы VIII международной конференции / МЭСИ. – Москва, 2001. – С. 240-245.
14. Никоноров, А. В. Инструментальная система для создания виртуальных лабораторий / А. В. Никоноров, В. В. Комлев // Качество инженерного образования: сб. тез. докл. международной научно-методической конференции / БГТУ. – Брянск, 2000. – С. 113-115.
15. Тихонов, А. И. Виртуальный эксперимент как базовое звено учебного процесса / А. И. Тихонов, В. В. Комлев // Современные технологии обучения: материалы VIII международной конференции / ЛЭТИ. – СПб., 2002. – С. 54-56.