

На правах рукописи



**БОРОДИН Дмитрий Константинович**

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
ПРОЦЕССА И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИХ РЕАЛИЗАЦИИ**

05.13.17 - теоретические основы информатики

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

2 0 MAR 2009

МОСКВА 2009

Работа выполнена на кафедре теоретической информатики и дискретной математики  
математического факультета Московского педагогического  
государственного университета

Научный руководитель	доктор физико-математических наук, профессор ГОРЕЛИК Виктор Александрович
Официальные оппоненты	доктор физико-математических наук, профессор БЕЛОЛИПЕЦКИЙ Александр Алексеевич  кандидат физико-математических наук, доцент ФОМИНА Татьяна Петровна
Ведущая организация	Смоленский государственный университет

Защита состоится «20» апреля 2009 г. в 16 ч. 00 мин. на заседании Диссертационного совета Д 212.154.32 при Московском педагогическом государственном университете по адресу: 119992, г. Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1, главный корпус МПГУ, ауд 209.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского педагогического государственного университета по адресу: 119992, г. Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1.

Автореферат разослан «14» марта 2009 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета



МУРАВЬЕВА О.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время активно развивается формализация планирования образовательного процесса, однако, большинство исследований посвящено частным случаям постановки и решения проблем в форме математических задач. Формализация содержания образования также является важной составляющей планирования образовательного процесса, однако существующие математические модели не обладают должной универсальностью и не получили широкого распространения.

Планирование образовательного процесса представляет собой нетривиальный процесс на самых различных его этапах, будь то стратегическое, тактическое или тематическое планирование. Традиционные способы планирования, сложившиеся эмпирическим путем, обладают рядом существенных недостатков, например, большой трудоемкостью, практической невозможностью наследования, отсутствием масштабируемости, гибкости и др. По этой причине представляется целесообразным автоматизация многих сторон и аспектов планирования образовательного процесса, учитывая, что в качестве исходных данных выступают численные значения, расчеты так или иначе подчиняются определенным закономерностям, а большой объем информации не позволяет обработать ее вручную оптимальным образом. С этой целью необходимо построить систему теоретических основ планирования образовательного процесса. Этой проблемой занимались как российские, так и зарубежные ученые.

В 70-х годах прошлого столетия ряд американских и европейских исследователей (Judy R.W., Schliefelben F., Adelman T., Bowles S., Tinbergen J., Bos H.C., McNamara J., Johnstone J., Stone R., Gani J., Zabronski E.K., Zinter J.R., Thonstad T., Hammond A. и др.) посвятил свои труды этой проблеме. Основопологающим моментом создания математических моделей планирования образовательного процесса были финансовые соображения. Основным положением исследований было следующее утверждение: количество человек, занятых и перемещающихся в системе образования, подчиняется определенным стохастическим закономерностям, и последующее состояние этой системы может быть просчитано на основе данных ее предыдущего состояния.

Современные исследования зарубежных ученых по вопросам планирования образовательного процесса являются продолжением описанных исследований и адаптируют их к современным экономическим и социальным реалиям (Chan C., Robbins L., Liu Y., Wang Y., Peterson M.), оставляя подход без изменений.

Российские исследователи также изучали проблему оптимизации планирования, однако, в виду сложившейся в середине-конце прошлого века в стране ситуации, финансовые показатели не учитывались; а в качестве целей были выбраны оптимизация времени на изучение дисциплины, а также повышение эффективности образовательного процесса. Были получены результаты планирования отдельных дисциплин на основе единого временного критерия, но общий подход так и не был сформулирован.

Вопросы оптимизации логической структуры учебных планов и предметов на основе аппарата теории графов, рассматривались в работах И.Б. Моргунова, А.В. Нетушила и А.В. Никитина, Д.А. Бояринова, Е.П. Емельченкова и др. Был предложен математический метод определения оптимальной последовательности учебных программ, представленных в виде графа, критерием оптимальности является минимальный суммарный временной разрыв между логически связанными темами с учетом дифференциации связей по степени их важности. Модель представляет собой важный научный результат и может быть использована в дальнейших исследованиях по проблеме.

В России разработкой образовательных концепций, в частности, в сфере информатизации образования, занимаются такие ведущие ученые, как В.Л. Матросов, С.А. Жданов, И.В. Роберт, О.А. Козлов, В.А. Поляков, С.Д. Каракозов, Н.И. Рыжова и др. Новые образовательные концепции разрабатываются с учетом внедрения в образовательный процесс инновационных технологий, которые в свою очередь требуют активной разработки инструментальных средств

как для планирования и управления учебным процессом, так и повышения его качества и эффективности на содержательном уровне. В.Л. Матросов, С.А. Жданов, С.Д. Каракозов и Н.И. Рыжова в своих исследованиях помимо разработки концепций и программ высшего профессионального образования по специальностям «Информатика» и «Математика» в сотрудничестве с международными стандартами, отмечают влияние на составление образовательных стандартов технологических и культурных изменений. Такие изменения оказывают влияние на все научно-предметные области, поэтому необходима разработка инструментальных средств, реализующих потребности современного образовательного сообщества, а также математических моделей и методов, на которых они основываются.

В области формализации содержания образования основные результаты получены и опубликованы консорциумом W3C (World Wide Web Consortium), и касаются разработки стандартов метаописаний учебных объектов, однако, ограничиваются уровнем описания ресурсов, без описания их содержания. Исследования Е.И. Горбуновой, С.Л. Лобачева, В.В. Соколовского, Д.П. Уланова и др. также посвящены стандартизации описания информационных ресурсов, однако, содержательный уровень не рассматривается. Работы А.В. Манциводи указывают на то, что пока еще не разработана модель образовательного объекта, интегрирующая в себе международные стандарты и инструментальные средства реализации, и обосновывают актуальность продолжения исследований в этом направлении. Также в этих работах отмечаются трудности, основными из которых являются бессистемный подход к созданию электронных образовательных ресурсов, сложность организации массовой работы, экономическая неэффективность, замкнутость создаваемых электронных образовательных ресурсов («вещь в себе»), ложная простота информационных технологий.

Требующей основополагающего исследования является область связывания планирования образовательного процесса и разработки его содержательного аспекта, а также представление в электронном виде, на что указывают современные исследования по социально-сетевым технологиям.

Таким образом, важной является проблема оптимального тематического и календарного планирования образовательного процесса, а также его информационной поддержки на основе современных компьютерных технологий.

Данная работа посвящена указанной проблеме и этим определяется ее актуальность.

Основной целью работы является разработка и развитие математических моделей и методов для формализации и решения задач планирования образовательного процесса и его содержания.

Объектом исследования являются математические модели и программные средства планирования и поддержки образовательного процесса.

Предметом исследования являются многокритериальные модели календарного планирования и интернет-технологии поддержки образовательного процесса.

В основу исследования положена следующая **гипотеза**: формализация задач календарного и тематического планирования и их связи с содержанием образовательных электронных изданий в рамках комплексного подхода позволяет найти оптимальные решения указанных задач и повысить эффективность образовательного процесса.

Для реализации поставленной цели и доказательства сформулированной гипотезы потребовалось решить следующие задачи:

- формализация и решение задачи оптимального распределения временных ресурсов на основе процедуры коррекции экспертных данных при использовании метода попарных сравнений и метода анализа иерархий;
- формулировка оптимизационных критериев и решение трехкритериальной задачи построения календарного графика образовательного процесса с использованием дополнительной информации о значениях параметров от ЛПР;

- разработка алгоритма ранжирования значимых элементов учебного текста и основанного на нем метода построения связанных образовательных электронных изданий;
- сформулировать и доказать теорему об использовании языка расширяемой гипертекстовой разметки XML в качестве инструментального средства представления множественных структур с сохранением классической аксиоматики теории множеств.

Методологическую основу работы составляют современные методы математической теории принятия решений, анализа иерархий, теории вероятностей, линейной алгебры, матричного анализа, математического анализа.

Научная новизна состоит в разработке комплекса моделей и методов для формализации задач планирования образовательного процесса, а также инструментальных средств их реализации и поддержки, что относится к таким областям исследования специальности 05.13.17 – теоретические основы информатики как:

- Исследование, в том числе с помощью средств вычислительной техники, информационных процессов, информационных потребностей коллективных и индивидуальных пользователей;
- Разработка новых интернет-технологий, включая средства поиска, анализа и фильтрации информации, средства приобретения знаний и создания онтологий, средства интеллектуализации бизнес-процессов.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенные способы формализации задач планирования образовательного процесса могут быть применены в сфере образования в виде систем поддержки учебного процесса на базе ИКТ, в то же время, являясь инструментально и платформо-независимыми, универсальными. Формализация содержания образования дает возможность интегрировать задачи календарного и тематического планирования с задачей построения связанных образовательных электронных изданий, что в совокупности дает обобщенную универсальную модель.

Основные положения, выносимые на защиту:

- проблемы планирования образовательного процесса могут и должны эффективно решаться в качестве оптимизационных математических задач;
- задача оптимального распределения временных ресурсов дисциплины может быть поставлена и решена с использованием метода целевого программирования на основе исходных данных, получаемых двумя способами: директивные данные нормативных документов и экспертные оценки, преобразующиеся в соответствующие параметры и весовые коэффициенты на основе метода анализа иерархий;
- задача календарного планирования образовательного процесса в рамках одной специальности может быть поставлена и решена в форме трехкритериальной оптимизационной задачи на основе формализации межпредметных связей по временной и содержательной классификациям;
- в модели построения календарного графика учебного процесса академический кредит может служить в качестве единицы меры критерия оценки знаний студентов, подлежащего максимизации;
- при рассмотрении структуры электронных образовательных ресурсов как множественных структур и разработке соответствующих моделей и алгоритмов, язык расширяемой гипертекстовой разметки XML соответствует аксиоматике теории множеств и строго обоснованно может служить инструментальным средством для реализации указанных моделей и алгоритмов в информационной среде;

- календарный план и содержание образовательного процесса могут быть связаны с целью создания связанных образовательных электронных изданий по смежным дисциплинам единой специальности.

Апробация результатов исследования. Основные результаты, полученные в диссертации, докладывались на следующих конференциях и семинарах:

- Всероссийская научно-практическая конференция «Информационные и коммуникационные технологии в общем, профессиональном и дополнительном образовании», Институт информатизации образования Российской Академии Образования, Москва, 18-19 мая 2006 г., 23-24 ноября 2006 г.
- Международная конференция «Системы компьютерной математики и их приложения», Смоленский Государственный Университет, Смоленск, 15-17 мая 2006 г., 14-16 мая 2007 г., 26-28 мая 2008 г.
- Круглый стол молодых ученых МПГУ по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники и критическим технологиям Российской Федерации, МПГУ, Москва, 20 декабря 2007 г., 20 ноября 2008 г.
- Всероссийская научно-практическая конференция «Методология и методика информатизации образования: концепции, программы, технологии», СмолГУ, ИПИ РАН, Смоленск, 17-19 октября 2005 г., 19-21 ноября 2007 г.
- II Всероссийская научно-методическая конференция с международным участием «Управление образовательным процессом в современном ВУЗе», КГПУ, Красноярск, 22-23 апреля 2008 г.
- Всероссийская конференция «Инновационные технологии обучения: проблемы и перспективы», ЛГПУ, Липецк, 29-30 марта 2008 г.
- Смоленский областной конкурс молодых ученых, инновационные научные проекты, октябрь 2006 г.
- Международная научно-практическая конференция «Актуальные направления развития современной физики и методики ее преподавания в ВУЗе и школе», БГПИ, Борисоглебск, март 2008 г.
- VI, VII, VIII Всероссийская, IX Международная научно-практическая конференция «Информационные и коммуникационные технологии в образовании», БГПИ, Борисоглебск, октябрь 2005 г., октябрь 2006 г., октябрь 2007 г., ноябрь 2008 г.
- IX, X Межрегиональная специализированная выставка-семинар по компьютерным и телекоммуникационным технологиям, Смоленский ЦНТИ, Смоленск, февраль 2006 г., 7-9 февраля 2007 г.
- Научно-практические семинары кафедры теоретической информатики и дискретной математики МПГУ, 2005-2008.

#### Внедрение результатов.

- Предложенный в работе подход реализован в виде системы поддержки образовательного процесса по дисциплине «Исследование операций» на математическом факультете Московского педагогического государственного университета (справка о внедрении от 16.02.09, утверждено: проректор по научной работе МПГУ, д.п.н., профессор В.Ф. Чертов).

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Во введении обосновывается актуальность темы исследования, определяется цель работы, выдвигается гипотеза, положенная в основу исследования, формулируются задачи, которые необходимо было решить для реализации поставленных целей и проверки выдвинутой гипотезы, указывается методологическая основа исследования, раскрывается научная новизна

и практическая значимость диссертационной работы, выдвигаются основные положения, выносимые на защиту, представлено основное содержание работы.

В первой главе проводится анализ существующих подходов к тематическому планированию образовательного процесса, рассмотрены задачи, возникающие в связи с тематическим планированием, обзорно рассмотрены подходы к формализации межпредметных связей. Излагается общая формализация проблемы оптимального распределения временных ресурсов на изучение учебной дисциплины специальности с учетом межпредметных связей на основе информации, представленной ЛПР. Рассмотрены классическая и упрощенная модификация метода анализа иерархий для получения дополнительной информации в обозначенной задаче. Предложенная модель используется при постановке и решении задач следующей главы.

В §1.1 рассмотрены существующие подходы к тематическому планированию в российских и зарубежных образовательных учреждениях, освещены их недостатки.

В §1.2 приводятся определения межпредметных связей (МПС) по двум наиболее употребимым классификациям – времени и содержанию, рассматриваются подходы к формализации МПС. Предлагается подход, используемый далее в задаче оптимального распределения временных ресурсов, основывающийся на следующем положении: для учета МПС в задаче тематического планирования образовательного процесса необходимо найти повторяющиеся темы в планах смежных дисциплин, а также определить последовательность изучения дисциплин с повторяющимися темами.

Формализация данного подхода рассмотрена в следующем параграфе.

В §1.3 предлагается математическая модель тематического планирования образовательного процесса. В качестве основы модели рассматривается задача оптимального распределения временных ресурсов на изучение учебной дисциплины специальности с учетом МПС, которая базируется на следующих положениях:

- 1) В качестве базового понятия для распределения временных ресурсов берется профессиональная компетенция;
- 2) Для достижения каждой конкретной компетенции необходимо изучить ряд тем;
- 3) Вес данной темы в рамках всего курса строится на основе подсчета суммарной компетенции для данной темы;
- 4) В качестве временных ограничений выступают: общее количество часов на дисциплину, общее количество часов на каждый вид работы;
- 5) Вычисление количества часов производится на основе экспертных оценок важности каждой темы дисциплины для каждой компетенции.

*Параметры задачи:*

$n$  – количество видов учебной работы  $s_i$ ,

$h_1, h_2, \dots, h_n$  – количество часов на каждый вид учебной работы,

$H = \sum_{i=1}^n h_i$  – общее количество часов, отведенных на изучение дисциплины,

$m$  – количество разделов (тем)  $t_j$  содержания учебной дисциплины,

$k$  – количество профессиональных компетенций  $c_l$ ,

$w_{lj}$  – оценка важности  $j$ -ой темы для  $l$ -ой профессиональной компетенции (по заданной шкале),

$W_j = \sum_{l=1}^k w_{lj}$  – суммарная компетенция по каждой теме,

$W_j^l = \frac{W_j}{\sum_{i=1}^m W_i}$  – вес  $j$ -ой темы в рамках курса в целом (нормированные суммарные компетенции),

$\rho_{ij}$  – доля  $i$ -го вида учебной работы для  $j$ -ой темы,  $\sum_{i=1}^n \rho_{ij} = 1$  для каждого  $j$ ,

$k_j$  – общее время на изучение  $j$ -ой темы,

$h_{ij} = k_j \rho_{ij}$  – количество часов, выделяемых на изучение  $j$ -ой темы в рамках  $i$ -го вида учебной работы.

### Решение задачи

Разобьем решение задачи на два этапа.

На первом этапе вычисляем суммарную компетенцию для каждой темы  $W_j = \sum_{i=1}^k w_{ij}$  и

рассчитываем веса  $W'_j$  каждой темы в рамках курса в целом, а также вычисляем долю  $i$ -го вида учебной работы для  $j$ -ой темы  $\rho_{ij}$ , используя следующую иерархическую декомпозицию задачи:

#### Уровень 1

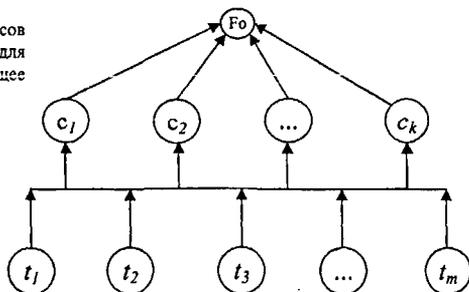
Цель: оптимальное распределение часов дисциплины по отдельным темам для каждого вида работы, максимизирующее суммарную компетенцию

#### Уровень 2

Перечень профессиональных учебных компетенций

#### Уровень 3

Перечень тем (разделов) учебной дисциплины



Экспертные оценки первого этапа задачи обрабатываются и формализуются с помощью метода анализа иерархий (МАИ).

В §1.4 рассмотрена проблема несогласованности матрицы попарных сравнений, численно выражающей экспертные суждения, используемые для решения данной задачи.

Оценки от лица, принимающего решение (ЛПР) записываются в матрице типа  $A = (a_{ij})_{n \times n}$ .

Каждый элемент  $a_{ij}$  представляет собой отношение веса  $i$ -го объекта  $A_i$  к весу  $j$ -го объекта  $A_j$ .

После заполнения матрицы, необходимо перейти от попарных сравнений к оценкам важности (весам) критериев.

Для существования весовых коэффициентов, должно выполняться условие согласованности матрицы  $a_{ij} a_{jk} = a_{ik}$ , для любых  $i, j, k$  (в частности,  $a_{ij} a_{ji} = a_{ii} = 1$ ).

Тогда задача сводится к нахождению собственного вектора матрицы, соответствующего ее наибольшему собственному значению.

Положительная обратносимметричная матрица согласована тогда и только тогда, когда  $\lambda_{max} = n$ , где  $\lambda_{max}$  – максимальное собственное значение матрицы, а  $n$  – размерность матрицы. В этом случае соответствующий  $\lambda_{max}$  собственный вектор дает точное значение весов критериев.

Однако, матрица попарных сравнений, полученная в результате суждений ЛПР, в общем случае не обладает свойством согласованности. В этом случае проблема оценок весов усложняется.

Для решения указанной проблемы в параграфе рассмотрено 4 подхода.

1. Вычисление приближенного значения собственного вектора матрицы попарных сравнений. Индекс согласованности.

Информацию о степени нарушения численной (кардинальной,  $a_{ij} a_{jk} = a_{ik}, i \neq j$ ) и транзитивной (порядковой) согласованности матрицы попарных сравнений дает индекс согласованности (ИС):

ИС =  $\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ , где  $\lambda_{\max}$  - наибольшее собственное число матрицы,  $n$  - число

сравниваемых элементов.

Если разделить ИС на число, соответствующее случайной согласованности матрицы того же порядка, то получим отношение согласованности (ОС). Для того, чтобы быть приемлемой, величина ОС должна быть порядка 10% или менее. Если же ОС выходит из этих пределов, то ЛПР необходимо пересмотреть свои суждения и составлять новые матрицы попарных сравнений.

### 2. Упрощенная модификация МАИ – «схема сравнения с образцом».

Метод основан на построении матрицы попарных сравнений по элементам первой строки матрицы: ЛПР предлагается сравнивать вес первого объекта с весом второго объекта и указать положительное число (согласно шкале), показывающее, во сколько раз вес первого объекта больше веса второго объекта, и так далее для всех объектов.

Остальные элементы матрицы находятся по следующим формулам:

$$a_{ij} = a_{ji} \cdot a_{1j} = \frac{a_{1j}}{a_{1i}}, \text{ где } i = 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n.$$

По методу построения полученная матрица является согласованной.

### 3. Метод интервальных оценок.

Согласно методу, матрица попарных сравнений  $n$  объектов ( $n \geq 2$ ) выглядит следующим образом:

$$M_n = \begin{pmatrix} 1 & [l_{12}, u_{12}] & \dots & [l_{1n}, u_{1n}] \\ & 1 & \dots & [l_{2n}, u_{2n}] \\ & & \dots & \dots \\ & & & 1 \end{pmatrix}, \text{ где } l_{ij} \text{ и } u_{ij} - \text{нижняя и верхняя грани интервальных оценок.}$$

Экспертные оценки, полученные в результате попарных сравнений на основании оценочной шкалы, должны удовлетворять следующему двойному неравенству:

$$l_{ij} \leq \frac{w_i}{w_j} \leq u_{ij}.$$

Проблема состоит в нахождении собственного вектора матрицы, удовлетворяющего этому условию. Здесь возможны 2 случая:

1) Существует согласованная матрица попарных в данных интервалах.

В этом случае необходимо сужение интервальных границ максимальным образом для нахождения собственного вектора матрицы, соответствующего ее наибольшему собственному значению.

2) Не существует согласованной матрицы попарных сравнений в данных интервалах.

В этом случае необходимо расширение интервалов.

### 4. Метод минимальной коррекции матрицы попарных сравнений.

Поскольку составленная классическим МАИ матрица попарных сравнений не обладает свойством согласованности, то имеем несовместную систему уравнений. В этом случае рассмотрим задачу коррекции матрицы попарных сравнений:

$$\|H\|^2 \rightarrow \min, \text{ так что } (A + H) - \text{обладает свойством совместности, т.е. } (a_{ij} + h_{ij})(a_{jk} + h_{jk}) = a_{ik} + h_{ik}, \text{ где } h_{ij} - \text{элементы матрицы } H.$$

Рассмотрим 2 подхода к решению задачи коррекции матрицы попарных сравнений. В качестве критерия аппроксимации используем квадратичный критерий.

Подход 1. Решение задачи коррекции методом Лагранжа.

Рассмотрим задачу коррекции коэффициентов матрицы попарных сравнений:

$$\sum_{i=1}^{i-1} \sum_{j=i}^j h_{ij}^2 \rightarrow \min, (a_{ij} + h_{ij})(a_{jk} + h_{jk}) = a_{ik} + h_{ik} \quad (1.1)$$

Применим метод Лагранжа:

$$L = \sum_{i=1}^{r-1} \sum_{j>i} h_{ij}^2 + \sum_{i,j,k} \lambda_{ijk} (a_{ij} h_{jk} + a_{jk} h_{ij} - h_{ik} + h_{ij} h_{jk}), \quad \frac{\partial L}{\partial h_{ij}} = 2h_{ij} + \lambda_{ijk} a_{jk} - \lambda_{jik} h_{ik} = 0$$

В общем случае найти решение задачи (1.1) методом Лагранжа достаточно сложно, но, предполагая  $h_{ij}, h_{jk}$  малыми и отбрасывая их как члены второго порядка, получаем задачу квадратичного программирования.

**Подход 2.** Решение задачи коррекции методом коррекции несовместных линейных систем с разреженной структурой.

Запишем коэффициенты матрицы попарных сравнений по их определению через веса критериев. Рассмотрим следующую задачу коррекции:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{r-1} \sum_{j>i} h_{ij}^2 &\rightarrow \min, \\ W_i &= (a_{ij} + h_{ij}) W_j, \quad \forall i, j > i, \\ \sum W_i &= 1. \end{aligned} \quad (1.2)$$

Задачу коррекции матрицы попарных сравнений (1.2) можно решить, применяя алгоритм TLN с учетом разреженной структуры. Тогда задача сводится либо к решению системы линейных алгебраических уравнений методом наименьших квадратов, либо к задаче линейного программирования.

Метод минимальной коррекций элементов матрицы попарных сравнений для удовлетворения условиям согласованности является наиболее подходящим вариантом по следующим причинам: 1) ЛППР предоставляет полную информацию; 2) не требуется дополнительных итераций работы ЛППР; 3) производится минимальное (элементы корректирующей матрицы минимальны по способам конструирования соответствующих критериев) изменение некоторых элементов матрицы с тем, чтобы она удовлетворяла условиям согласованности.

Согласно результатам вычислительных экспериментов, подвергнутая коррекции матрица попарных сравнений не изменяет характера суждений ЛППР, что в свою очередь говорит о том, что данный подход более всего соответствует главной цели МАИ – нахождению приоритетов высшего уровня иерархии.

На **втором этапе** вычисляем количество часов  $h_{ij}$ , выделяемых на изучение  $j$ -ой темы в рамках  $i$ -го вида учебной работы на основании матрицы весов  $\rho_{ij}$  размерности  $m \times n$ .

Второй этап задачи представляет собой задачу целевого линейного программирования.

Целевая функция  $f(c_j^1, \Delta_j, c_j^2, \delta_j) = \sum_{j=1}^m (c_j^1 \Delta_j + c_j^2 \delta_j)$ , где  $\Delta_j, \delta_j$  – невязки в ограничениях, задающих наилучшее распределение времени по видам учебных работ,  $c_j^1, c_j^2$  – коэффициенты штрафа.

Найти  $k_j, \Delta_j, \delta_j$ , минимизирующие целевую функцию

$$f(c_j^1, \Delta_j, c_j^2, \delta_j) = \sum_{j=1}^m (c_j^1 \Delta_j + c_j^2 \delta_j) \rightarrow \min \quad (1.3)$$

при следующих ограничениях:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m k_j \rho_{ij} = h_i, i = \overline{1, n} \\ k_j = W_j^i H + \Delta_j - \delta_j, j = \overline{1, m} \\ \sum_{j=1}^m \Delta_j - \sum_{j=1}^m \delta_j = 0 \\ k_j, \Delta_j, \delta_j \geq 0 \end{cases} \quad (1.4)$$

$k_j, \Delta_j, \delta_j$  – искомые величины;

$c_j^1, c_j^2$  – заданные штрафные параметры;

$W_j^1, \rho_j$  – величины, определенные на первом этапе.

При необходимости возможен пересмотр штрафных параметров  $c_j^1, c_j^2$  и повторное проведение вычислений.

Заметим, что в силу вида целевой функции для каждого  $j$  одна из невязок в решении  $\Delta_j$  или  $\delta_j$  должна быть равна нулю.

В ограничения может быть включено требование целочисленности, однако, оно не является существенным, т.к. на одном занятии может изучаться более одной темы.

Окончательно имеем  $h_{ij} = k_j \rho_j \quad \forall i, j$ , где  $k_j$  получены из решения задачи (1.4).

Решение задачи для дисциплины «Исследование операций» проводилось в системе Mathcad, в §1.5 приведены результаты вычислительного эксперимента и проанализированы результаты: процессы составления матриц попарных сравнений на основе экспертных оценок и распределения времени на основе задачи целевого линейного программирования, как правило, носят итеративный характер, при этом возможные неудовлетворительные результаты второго этапа наглядно указывают на необходимость изменения штрафных параметров задачи.

Во второй главе рассматривается применение процессного подхода для организации автоматизации управления учебным процессом. В качестве стратегического этапа этого подхода ставится и решается многокритериальная задача построения календарного графика учебного процесса по единой специальности, проводится корреляция задачи на уровне параметров с тактическим этапом процессного подхода – с задачей составления и коррекции учебного расписания.

В §2.1 рассмотрен стратегический этап процессного подхода для организации автоматизации управления учебным процессом. Процесс создания автоматизированных систем поддержки учебного процесса, в рамках которых предложено использовать средства автоматизации составления календарного графика учебного процесса, включает в себя следующие этапы:

- 1) содержательная постановка задачи, анализ существующих путей решения;
- 2) формализация задачи: математическая постановка, поиск решения, разработка алгоритмов;
- 3) создание программного средства для решения задачи на основе алгоритмов формализованной модели.

Стратегический этап отвечает за построение календарного плана занятий на семестры с учетом требований к этому плану, а также коррекции системы требований в случае, если построить календарный план не удастся.

В §2.2 предложено использование академического кредита как единицы меры знаний студентов. Кредиты назначаются всем компонентам учебной программы (дисциплинарные модули, практика, исследовательская работа, итоговая выпускная работа, диссертационная работа и т. д.). Они отражают объем работы, необходимый для достижения результатов образования средним по способностям студентом в отношении к общему объему работы, требуемой для успешного завершения всего года обучения.

В §2.3 дается постановка задачи построения календарного графика учебного процесса с учетом МПС. Исходные данные задачи берутся из нормативных документов. Задача сформулирована в виде адаптивной (допускающей добавление новых критериев) трехкритериальной задачи оптимизации.

#### **Ограничения модели**

Суммарное количество аудиторных часов, выделяемых на изучение всех дисциплин каждого семестра, не должно превышать значение  $hot$ :

$$\sum_j H_{jk} \leq hot_k, \quad j - \text{номера дисциплин, изучающихся в } k\text{-м семестре.}$$

Суммарное количество академических кредитов по всем дисциплинам в семестр должно быть не меньше определенной величины  $C$  с целью выполнения образовательного минимума:

$$\sum_j c_{jk} \geq C, \text{ где } j - \text{ номера дисциплин, изучающихся в } k\text{-м семестре.}$$

Академические кредиты связаны с часами, вообще говоря, некой функциональной зависимостью, поэтому функция объема знаний студентов достигнет своего максимума в виду ограничения количества часов сверху.

Примерное распределение дисциплин по семестрам (согласно программе по специальности) зададим в виде булевой биматрицы  $A$ , первая компонента элементов которой указывает, запланировано ли прохождение  $j$ -й дисциплины на  $k$ -й семестр, вторая – является ли прохождение этой дисциплины обязательным в конкретном семестре. Соответственно, если вторая компонента равна 1, то и первая компонента равна 1, иначе – первую компоненту можно варьировать.

#### *Предшествование учебных курсов*

Для учета МПС уровня стратегического планирования каждой дисциплине предметного цикла необходимо поставить в соответствие множество предшествующих учебных дисциплин данного цикла, т.е. таких дисциплин, которые должны быть изучены до изучения данной дисциплины. В графовой модели дисциплины выступают в роли ребер, результаты изучения дисциплин – в качестве вершин графа.

#### *Постановка оптимизационной задачи календарного планирования*

В качестве критериев оптимальности задачи зададим:

*Критерий максимизации студенческих знаний:* объем знаний студентов (в академических кредитах) за весь срок обучения должен быть максимальным:

$$F_1 = \sum_k \sum_j c_{jk} \rightarrow \max \quad (2.1)$$

*Критерий устойчивости:* суммарные резервы для всех дисциплин специальности должны быть максимальными для устойчивости учебного плана:

$$F_2 = \sum_j (k_{2j} - k_{1j}) \rightarrow \max \quad (2.2)$$

где  $k_{1j}$  – наиболее ранний семестр начала прохождения дисциплины  $j$ ,  $k_{2j}$  – наиболее поздний семестр завершения прохождения дисциплины  $j$ , определяемые с учетом МПС.

*Критерий остаточных знаний:* суммарное расстояние между изучением всех взаимосвязанных дисциплин (в семестрах) должно быть минимальным:

$$F_3 = \sum_j \sum_{i \in I(j)} (k_{1j} - k_{2i}) \rightarrow \min, \quad (2.3)$$

где  $I(j)$  – множество дисциплин, изучение которых требуется для изучения  $j$ -й дисциплины ( $i < j \forall i \in I(j)$ ),

$k_{2i}$  – семестр окончания изучения  $i$ -й дисциплины,

$k_{1j}$  – семестр начала изучения  $j$ -й дисциплины.

Модель является адаптивной с возможностью добавления других критериев, например:

*Критерий равномерности:* для каждого предметного цикла изучение дисциплин должно происходить равномерно

$$F_4 = \max_k |J(k)| \rightarrow \min, \quad (2.4)$$

где  $|J(k)|$  – количество дисциплин данного предметного цикла, изучающихся в  $k$ -м семестре.

Найти: 1) распределение учебных курсов по семестрам и их объемы в академических кредитах и часах; 2) минимальное время завершения изучения цикла дисциплин; 3) наиболее ранний момент начала и окончания изучения каждой дисциплины; 4) множество критических дисциплин (задержка изучения хотя бы одной из которых приведет к задержке изучения всего

цикла); 5) резервы времени для следующей итерации (если задача решается в рамках процессного подхода).

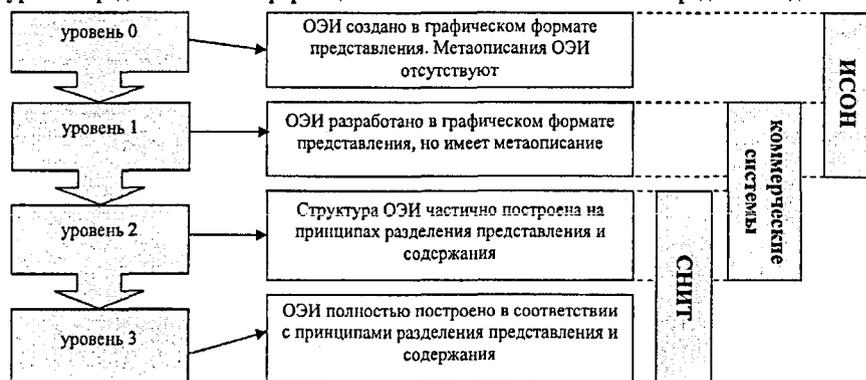
В §2.4 приводится решение задачи предыдущего параграфа в системе Mathcad для дисциплин специальности «Информатика» методом последовательных уступок.

В третьей главе рассматривается проблема планирования содержания образовательного процесса. Обзорно рассматриваются современные подходы к формализации содержания образовательных электронных изданий. Предложен алгоритм ранжирования значимых элементов учебного текста для построения связанных образовательных электронных изданий. Обосновывается выбор языка расширяемой гипертекстовой разметки XML в качестве инструментального средства для представления данных, заданных в виде множественных структур. Исследуется корреляция задачи построения календарного графика учебного процесса, рассмотренная во второй главе, и построения связанных образовательных электронных изданий с целью формирования единого подхода к формализации планирования образовательного процесса и его содержания, а также его оптимизации.

В §3.1 рассмотрены современные уровни представления информации (уровни 0, 1, 2) в образовательных электронных изданиях (ОЭИ), разработаны концептуальные основы перспективного уровня 3. Приводится корреляция классификаций ОЭИ по уровням представления информации и средствам создания (информационные средства общего назначения (СИОН), коммерческие системы и средства новых информационных технологий (СНИТ)).

#### уровни представления информации

#### средства создания



В §3.2 рассматриваются связанные образовательные электронные издания (СОЭИ), определяются значимый элемент учебного текста и СОЭИ.

**Определение.** *Значимым элементом* учебного текста назовем элемент множества определений, понятий, теорем, аксиом, фактов и всех им подобных элементов, участвующих в данном учебном тексте, соответственно *уникальным значимым элементом* учебного текста назовем значимый элемент, морфологические формы которого, участвующие в данном учебном тексте, считаются этим же элементом.

Множество уникальных значимых элементов:  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$

**Определение.** Под *связными образовательными электронными изданиями (СОЭИ)* будем понимать совокупность ОЭИ, обладающую следующими свойствами:

1. СОЭИ представляют собой множество ОЭИ, составляющих ядро дисциплин единой специальности.
2. Уникальные значимые элементы всех ОЭИ из множества СОЭИ являются частично взаимосвязанными. Иначе говоря, не все значимые элементы всех СОЭИ обязаны быть связаны.

3. Не должно быть изолированного ОЭИ, т.е. такого, значимые элементы которого не ссылаются на значимые элементы хотя бы одного, отличного от данного ОЭИ, множества СОЭИ.

4. Множество СОЭИ может состоять из единственного ОЭИ, при этом значимые элементы связаны внутри этого ОЭИ.

Таким образом, СОЭИ – совокупность множества ОЭИ и множества связей ОЭИ между собой.

Данное определение естественным образом формулируется на языке графов:

СОЭИ – это *связный граф*, вершинами которого являются ОЭИ, дугами – упорядоченные пары ОЭИ, и выполняется условие связности, т.е. для любой пары вершин найдется соединяющая их цепь.

В §3.3 приводится алгоритм ранжирования значимых элементов учебного текста – множества  $P$ . Элементы множества  $P$  упоминаются в учебном тексте в составе тех или иных элементов (по большей части тех, которые не являются значимыми, т.е. не принадлежат множеству  $P$ ). Алгоритм рассчитывает удельный вес  $r_i$  значимых элементов учебного текста:

**Шаг 1.** Вычисляем вес  $w_{ij}$   $i$ -го уникального значимого элемента из множества  $P$  для  $j$ -й категории без учета поправочных коэффициентов:

$$w_{ij} = \frac{k_{ij}}{\sum_{i=1}^j k_{ij}} S, \text{ где } k_{ij} - \text{ количество вхождений } i\text{-го уникального значимого элемента в } j\text{-й}$$

категории.

Результаты представляют собой множества, разделяющие веса элементов по тому, в какой категории эти значимые элементы встречаются.

**Шаг 2.** Применяя поправочные коэффициенты  $C_j$  к полученным весам  $w_{ij}$ , вычисляем средние относительные веса  $r_i^1$  для каждого  $i$ -го уникального значимого элемента в рамках ОЭИ в целом:

$$r_i^1 = \frac{\sum_{j=1}^s C_j \cdot w_{ij}}{s}$$

**Шаг 3.** Нормируем полученные относительные веса  $r_i^1$ , вычисляем  $r_i$ :

$$r_i = \frac{r_i^1}{n}$$

В §3.4 приводится формулировка и доказательство следующей теоремы.

**Теорема.** На объектах языка расширяемой гипертекстовой разметки XML можно задать теоретико-множественные операции, удовлетворяющие аксиоматике Цермело-Френкеля.

Благодаря формально обоснованной возможности применения языка расширяемой гипертекстовой разметки для инструментальной реализации множеств текстовой природы предлагаются следующие варианты практического применения:

- 1) Представление ОЭИ средствами XML и возможностью применения на таким образом представленном ОЭИ математических моделей и алгоритмов, например, алгоритма ранжирования значимых элементов учебного текста, описанного в настоящей главе;
- 2) На базе результатов пункта 1 автоматизация построения СОЭИ;
- 3) Автоматизация построения индивидуальной траектории обучения;
- 4) Создание настраиваемых (адаптивных) электронных учебных ресурсов (ЭУР).

В §3.5 показана связь календарного планирования образовательного процесса и СОЭИ с целью построения комплекта СОЭИ, соответствующего календарному графику прохождения дисциплин по специальности (на примере специальности «Информатика»).

В четвертой главе рассмотрены инструментальные средства реализации математических моделей и методов планирования образовательного процесса.

В §4.1 проводится обзор опыта применения современных инструментальных средств в России и за рубежом, оценка эффективности работы того или иного метода производится с помощью разработанной системы критериев. Рассматриваются два подхода к разработке инструментальных средств – онлайн и офлайн и преимущества концепции Веб 2.0.

В §4.2 рассмотрена модель производственного цикла автоматизации планирования образовательного процесса – от содержательной постановки задачи заказчиком до получения результата конечным потребителем, в которой ключевым звеном является веб-служба как реализация математического обеспечения планирования образовательного процесса.

В §4.3 предложена концепция веб-службы как автоматизированного средства интеграции и реализации математических моделей и методов планирования образовательного процесса и его содержания, а также использование онлайн-версии математического пакета Mathcad – Mathcad Calculation Server в роли математического обеспечения веб-службы. Среди основных преимуществ применения системы – доступность в режиме онлайн и отсутствие требования специальных навыков от пользователей. Предложена кейс-технология как метод применения результатов решения задачи оптимального распределения временных ресурсов в тематическом планировании.

В §4.4 приводится пример реализации онлайн-системы поддержки учебного процесса по дисциплине «Исследование операций» на математическом факультете Московского педагогического государственного университета.

**В заключении приведены основные результаты:**

1. Поставлена и решена задача оптимального планирования временных ресурсов по дисциплине на основе метода анализа иерархий и его модификаций;
2. Поставлена и решена трехкритериальная задача построения оптимального календарного графика прохождения дисциплин одной специальности с учетом межпредметных связей;
3. Сформулирована и доказана теорема о соответствии языка расширяемой гипертекстовой разметки XML аксиоматике теории множеств, тем самым строго обоснована возможность использования XML как инструмента для множественного представления и обработки содержания электронных образовательных ресурсов;
4. Разработана модель производственного цикла построения систем поддержки образовательного процесса ВУЗа от словесной формулировки проблемы до ее реализации для конечного потребителя, ключевыми звеньями которой являются указанные задачи планирования учебного процесса;
5. Разработан алгоритм ранжирования значимых понятий учебного текста с учетом межпредметных связей;
6. Реализована интернет-система поддержки образовательного процесса по дисциплине «Исследование операций» на математическом факультете Московского педагогического государственного университета.

**Основное содержание диссертационной работы изложено в следующих публикациях:**

1. Бородин Д.К. Метод построения связанных образовательных электронных изданий: ранжирование значимых элементов учебного текста // *Качество. Инновации. Образование*, 2008. – №4 – М., – С. 63-70. – 0,7 п.л.
2. Бородин Д.К., Горелик В.А. Разработка образовательной кейс-технологии на основе математической модели распределения временных ресурсов // *Качество. Инновации. Образование*, 2008. – №7 – М., – С. 18-25. – 0,52 п.л. (авт. вклад 50%)
3. Бородин Д.К., Токарев А.Б. Математическое обеспечение планирования образовательного процесса // *Качество. Инновации. Образование*, 2008. – №8 – М., – С. 5-15. – 0,74 п.л. (авт. вклад 50%)
4. Горелик В.А., Бородин Д.К. Решение проблемы несогласованности матрицы попарных сравнений в методе анализа иерархий: приближенный метод, упрощенная модификация, минимальная коррекция матрицы // *Сборник материалов IX международной научно-*

- практической конференции «Информационные и коммуникационные технологии в образовании». – Борисоглебск: БГПИ, 2008. – С. 177-184. – 0,44 п.л. (авт. вклад 50%)
5. Bavrin I., Borodin D., Gorelik V., Rodyukov A. Analytical hierarchy process: original and simplified modifications. Mathcad functions of problem solutions // 9th International Conference «Computing Calculation Software and their application» (May 19-21). – Smolensk: Smolensk State University, 2008. – vol. 9, – P. 100-102. – 0,19 п.л. (авт. вклад 25%)
  6. Borodin D., Gorelik V., Zhdanov S. Studying the role of Web 2.0 in education: experiences, problems and solutions // 9th International Conference «Computing Calculation Software and their application» (May 19-21). – Smolensk: Smolensk State University, 2008. – vol. 9, – P. 102-104. – 0,19 п.л. (авт. вклад 30%)
  7. Бородин Д.К., Токарев А.Б. Корреляция задач составления учебного расписания и календарного графика образовательного процесса // Сборник материалов IX международной научно-практической конференции «Информационные и коммуникационные технологии в образовании». – Борисоглебск: БГПИ, 2008. – С. 225-228. – 0,25 п.л. (авт. вклад 50%)
  8. Бородин Д.К. Академический кредит как единица меры знаний студентов // Сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции «Информационные и коммуникационные технологии в образовании». – Борисоглебск: БГПИ, 2008. – С.7-10. – 0,23 п.л.
  9. Бородин Д.К., Демидова М.И. Web 2.0 в образовательном процессе: подходы и опыт апробации. // Управление образовательным процессом в современном ВУЗе. Материалы II Всероссийской научно-методической конференции с международным участием. – Красноярск: КГПУ, 2008. – С. 112-113. – 0,15 п.л. (авт. вклад 70%)
  10. Бородин Д.К., Родюков А.В. Построение связанных образовательных электронных изданий по физике // Актуальные направления развития современной физики и методики ее преподавания в ВУЗе и школе. Материалы международной научно-практической конференции. – Борисоглебск: БГПИ, 2008. – С. 98-102. – 0,25 п.л. (авт. вклад 70%)
  11. Бородин Д.К. Образовательная кейс-технология: разработка на основе математической модели распределения временных ресурсов // Инновационные технологии обучения: проблемы и перспективы. Материалы всероссийской конференции. – Липецк: ЛГПУ, 2008. – С. 179-183. – 0,25 п.л.
  12. Бородин Д.К., Родюков А.В., Самойлова Т.А. Опыт разработки педагогического портала и перспективы его развития в рамках социально-сетевых сервисов Web 2.0 // Инновационные технологии обучения: проблемы и перспективы. Материалы Всероссийской конференции. – Липецк: ЛГПУ, 2008. – С. 275-279. – 0,31 п.л. (авт. вклад 50%)
  13. Бородин Д.К. Web-сервисы и службы педагогического портала // Методология и методика информатизации образования: концепции, программы, технологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Смоленск: СмолГУ, 2007. – С. 200-202. – 0,19 п.л.
  14. Бородин Д.К. Задача календарного планирования в сфере образования. // Системы компьютерной математики и их приложения. Материалы международной конференции. Выпуск 8. – Смоленск: СмолГУ, 2007. – С. 200-202. – 0,13 п.л.
  15. Балабаев М.А., Бородин Д.К., Самойлова Т.А. Семантическая разметка учебных материалов в педагогическом портале // 10-я межрегиональная специализированная выставка-семинар по компьютерным и телекоммуникационным технологиям. Сборник трудов. – Смоленск: Администрация Смоленской области, 2007. – С. 95-98. – 0,19 п.л. (авт. вклад 40%)
  16. Балабаев М.А., Бородин Д.К., Самойлова Т.А. Выбор информационных технологий для разработки педагогического портала // Методология и методика информатизации образования: концепции, программы, технологии. Материалы всероссийской научно-

- практической конференции. – Смоленск, Москва: СмолГУ, ИПИ РАН, 2007. – С. 205-208. – 0,19 п.л. (авт. вклад 50%)
17. Балабаев М.А., Бородин Д.К. Семантическая модель образовательных электронных изданий в педагогическом портале // Системы компьютерной математики и их приложения. Материалы международной конференции. – Смоленск: СмолГУ, 2006. – С. 153-155. – 0,13 п.л. (авт. вклад 60%)
  18. Бородин Д.К. Задача календарно-тематического планирования. // Информационные и коммуникационные технологии в образовании. Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции, секция прикладной математики. – Борисоглебск: БГПИ, 2006. – С. 92-94. – 0,11 п.л.
  19. Бородин Д.К. Об автоматизации формирования педагогического сценария // Информационные и коммуникационные технологии в общем, профессиональном и дополнительном образовании. Ученые записки. Вып. 19. – М.: ИИО РАО, 2006. – С. 203-205. – 0,19 п.л.
  20. Бородин Д.К., Самойлова Т.А., Сенькина Г.Е. Разработка обучающих сценариев средствами педагогического портала. // Сб. трудов IX межрегиональной выставки по компьютерным и телекоммуникационным технологиям. – Смоленск: Администрация Смоленской области, 2006. – С. 97-99. – 0,12 п.л. (авт. вклад 30%)
  21. Балабаев М.А., Бородин Д.К., Самойлова Т.А. Учебные XML-объекты в педагогическом портале. Ученые записки. Вып. 22. – М.: ИИО РАО, 2006. – С. 122-125. – 0,14 п.л. (авт. вклад 40%)
  22. Балабаев М.А., Бородин Д.К. Научный проект «Педагогический портал образовательного учреждения». // Конкурс молодых ученых. Сборник трудов. – Смоленск: Универсум, 2006. – С. 119-124. – 0,31 п.л. (авт. вклад 50%)
  23. Бородин Д.К. О задаче календарно-тематического планирования. // Системы компьютерной математики и их приложения. Материалы международной конференции. – Смоленск: СмолГУ, 2006. – С. 157-159. – 0,127 п.л.
  24. Балабаев М.А., Бородин Д.К., Самойлова Т.А., Яненко Ю.Б. Разработка педагогического портала образовательного учреждения // Информационные и коммуникационные технологии в общем, профессиональном и дополнительном образовании. Ученые записки. Вып. 19. – М.: ИИО РАО, 2006. – С. 205-210. – 0,31 п.л. (авт. вклад 25 %)
  25. Бородин Д.К. Реализация математической модели решения задачи нелинейного программирования методом множителей Лагранжа в среде Maple // Информационные и коммуникационные технологии в образовании. Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции, секция прикладной математики. – Борисоглебск: БГПИ, 2005. – С. 85-89. – 0,25 п.л.
  26. Бородин Д.К., Самойлова Т.А., Сенькина Г.Е. Проблемы создания педагогических сценариев с использованием педагогического портала // Методология и методика информатизации образования: концепции, программы, технологии. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Смоленск: СГПУ, 2005. – С. 56-58. – 0,14 п.л. (авт. вклад 30%)



Подп. к печ. 10.03.2009    Объем 1 п.л.    Заказ №. 34    Тир 100 экз.  
Типография МПГУ