

**ОХОТНИКОВА**

Елена Сергеевна

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,  
АЛГОРИТМИЗАЦИЯ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ  
АДАПТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ  
(НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ)**

Специальность 05.13.18 –

«Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Тюмень - 2012

Диссертация выполнена на кафедре программного обеспечения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тюменский государственный университет».

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,  
профессор Захарова Ирина Гелиевна

Официальные оппоненты: Шапцев Валерий Алексеевич,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный  
университет», профессор кафедры информа-  
ционных систем

Кафтанников Игорь Леопольдович,  
кандидат технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государ-  
ственный университет», заведующий кафед-  
рой электронно-вычислительных машин

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Омский государственный тех-  
нический университет»

Защита состоится 29 мая 2012 г. в «12-00» на заседании диссертацион-  
ного совета Д 212.274.14. при ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный  
университет» по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Перекопская, 15а, аудито-  
рия 410.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Тю-  
менский государственный университет».

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

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Ступников А.А.

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Движение современного общества к информационному формирует потребность существенного совершенствования функционала информационных систем (ИС). Одним из направлений развития ИС является их адаптация к возможностям и требованиям пользователей. Под адаптивными понимают системы, в которых заложены возможности модификации алгоритмов их функционирования в ответ на действия пользователей или изменения характеристик внешней среды. Адаптивные информационные системы (АдИС) особенно актуальны, если велико количество пользователей системы, отличающихся целями и опытом. При этом объем контента системы позволяет варьировать способы представления информации (поисковые системы Yandex, Nigma, системы электронного обучения «Орокс», «Прометей», «eLearning Server 3000» и др.). Изначально адаптация интерпретировалась как процесс управления сложным объектом или процессом в условиях неопределенности (Р. Беллман, Я.З. Цыпкин, Ф. Чаки и др.). В дальнейшем в качестве объекта управления рассматривался пользователь системы (Е.В. Луценко, Л.А. Растрин, В.С. Симанков). В этих работах выделены аспекты моделирования, необходимые для обеспечения адаптации: модель пользователя, модели и алгоритмы адаптации. В современных ИС к таким аспектам также относят модель предметной области (Д.В. Ландэ, Н.В. Лукашевич, К.Д. Маннинг).

В исследованиях А.И. Башмакова, И.А. Башмакова, П. Де Бра, А.Н. Григорьева, Д.В. Ландэ, Н.В. Лукашевича, К.Д. Маннинга, А.В. Соловова выделяются основные направления адаптации, характерные для информационных систем: адаптивный поиск информации, адаптивное представление информации, адаптивная навигационная поддержка.

Хотя существующие подходы к моделированию АдИС позволяют реализовать все базовые направления адаптации в отдельности, в них не учитывается возможность *комплексной адаптации*, а также не предусматривается возможность применения функционала АдИС в качестве *инструмента* получения данных об адекватности информационного наполнения системы запросам пользователей.

Таким образом, разработка методов математического моделирования, учитывающих возможность комплексной адаптации на основе изменяющихся параметров пользователя, является **актуальным** направлением развития научных основ проектирования и разработки адаптивных систем.

**Объект исследования** – адаптивные информационные системы.

**Предмет исследования** – методы математического моделирования АдИС, позволяющие описать структуру контента, индивидуальный профиль пользователя и его взаимодействие с системой; адаптивные алгоритмы формирования предоставляемого контента в процессе динамического взаимодействия пользователя с системой; программная реализация данных моделей и алгоритмов.

**Целью работы** является разработка методов математического моделирования информационных систем, применение которых при проектировании и программной реализации ИС позволит обеспечить предоставление пользователю адекватной его целям информации, содержание и последовательность предъявления которой соответствуют профилю пользователя.

Для достижения поставленной цели исследования сформулированы следующие **задачи**:

- анализ существующих концепций, моделей, технологий и подходов к созданию адаптивных информационных систем, в том числе систем электронного обучения (СЭО) с поддержкой индивидуализации обучения;
- исследование применимости существующих математических моделей для формирования адаптивных информационных систем;
- разработка методов математического моделирования, применение которых в информационных системах позволит обеспечить:
  - представление структуры контента в виде, позволяющем реализовать адаптивный поиск информации, адаптивное представление информации, адаптивную навигационную поддержку,
  - динамическое обновление индивидуального профиля пользователя (ПП),
  - адаптивный поиск контента с учетом параметров профиля пользователя,

- предоставление пользователю контента, форма и последовательность подачи которого отвечает его профилю;
- разработка алгоритма, обеспечивающего реализацию основных направлений адаптации при обработке контента;
- проектирование, разработка и тестирование адаптивной информационной системы на базе предложенных моделей;
- практическое внедрение разработанной АдИС в составе системы электронного обучения Института математики, естественных наук и информационных технологий (ИМЕНИТ) Тюменского государственного университета.

**Методы исследования.** Для формализации и решения поставленных в работе задач использовались методы теории множеств, теории графов, теории конечных автоматов, кластерного анализа, латентно-структурного анализа, теории информационных процессов и систем.

**Научная новизна и теоретическая значимость** исследования заключаются в разработке методов математического моделирования контента информационной системы и профиля пользователя, обеспечивающих комплексную адаптацию в процессе взаимодействия пользователя с ИС.

В области *разработки новых математических методов моделирования объектов и явлений* предложен метод математического моделирования АдИС, в рамках которого предметная область представлена в виде множества информационных объектов (ИО) двух типов, и связей, представленных отношениями вложенности и предшествования. Определен набор характеристик ИО, достаточный для автоматизации процесса динамического адаптивного (в соответствии с изменяющимся профилем пользователя) отбора информации.

В области *разработки, обоснования и тестирования эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий* создан комплекс алгоритмов, реализующий предложенный подход к моделированию АдИС. Разработан набор имитационных алгоритмов, предназначенных для компьютерного моделирования процесса взаимодействия пользователей с АдИС, исследования корректности информационного на-

полнения системы, а также для проверки адекватности предложенных моделей и подходов в ходе вычислительного эксперимента.

**Практическая значимость работы** определяется тем, что предложенные методы математического моделирования и алгоритмы могут быть эффективно использованы для расширения адаптивного функционала информационных систем, в частности для динамического формирования индивидуальных образовательных траекторий в СЭО.

Работа поддержана грантом для развития и активизации научно-исследовательской и экспедиционной деятельности аспирантов ТюмГУ (2008 г.). Разработка математических моделей контента и профиля пользователя, а также информационной модели системы выполнены в рамках приоритетного национального проекта «Образование» Инновационной образовательной программы ТюмГУ (Раздел: Центр IT-компетенций, 2007-2008 гг.).

**Внедрение полученных результатов.** Для апробации предложенных моделей и алгоритмов были разработаны подсистемы «Конструктор курсов» и «Диспетчер учебных траекторий» СЭО, используемые в ИМЕНИТ Тюменского государственного университета. «Конструктор курсов» позволяет формировать структуру учебных курсов и определять значения параметров соответствующих моделей. С помощью этой подсистемы автором разработаны электронные учебные курсы «Компьютерные науки» и «Методы вычислений» для направления «Механика. Прикладная математика». «Диспетчер учебных траекторий» реализует функции адаптации содержания и навигационной поддержки учебного курса к индивидуальным характеристикам пользователей.

**На защиту выносятся** оригинальные результаты по трем направлениям, отраженным в паспорте специальности 05.13.18:

- методы математического моделирования контента, основанного на развитии стандарта IEEE LOM отношениями вложенности и предшествования, и профиля пользователя АдИС, учитывающего статические и динамические характеристики, применение которых в проектировании и разработке информационных систем позволяет обеспечить автоматизацию процесса динамического адаптивного отбора контента (*математическое моделирование*);

- алгоритм адаптивного отбора контента, обеспечивающий реализацию основных аспектов адаптации, включающий выделение групп пользователей методами кластерного анализа, выбор опорной траектории взаимодействия пользователя с АдИС, построение и корректировку адаптивной траектории на основе динамически меняющихся характеристик пользователя (*численные методы*);
- реализация предложенных подходов к моделированию и алгоритмизации в программном комплексе, основанном на модели конечного адаптивно управляющего автомата и обеспечивающем: задание атрибутики контента и профиля пользователя, определение начальных значений характеристик контента, пересчет значений динамических характеристик пользователя, построение и коррекцию адаптивной траектории взаимодействия пользователя с АдИС (*комплексы программ*).

**Апробация работы.** Основные положения работы доложены и обсуждены на семи *Международных* научных и научно-практических конференциях: «Математические методы в технике и технологиях» (Саратов, 2008), «Информационные технологии в науке и образовании» (Шахты, 2009), «Новые информационные технологии в образовании» (Екатеринбург, 2009, 2012), «Информационные технологии в образовании» (Москва, 2009), «Современные информационные технологии и ИТ-образование» (Москва, 2009), «Информационные технологии в образовании» (Москва, 2010), *Всероссийском* конкурсе научно-исследовательских работ аспирантов и молодых ученых в области технологий электронного обучения в образовательном процессе (Белгород, 2010); *Всероссийской* научно-методической конференции «От инноваций к качеству образования» (Тюмень, 2011).

**Публикации по теме работы.** Основное содержание работы отражено в 16 публикациях, в числе которых 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 3 статьи в рецензируемых изданиях.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, библиографического списка из 127 наименований и 3 приложений; содержит 4 таблицы и 38 рисунков. Общий объем работы – 145 страниц.

## Краткое содержание работы

**Во введении** обосновывается актуальность выбора темы диссертационной работы, охарактеризованы объект и предмет исследования, определены цель и задачи исследования. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** на примере систем электронного обучения рассмотрены возможности современных ИС, позволяющие адаптировать процесс предоставления информации пользователю в соответствии с его индивидуальным профилем, отражающим цели получения информации и возможности ее обработки в процессе взаимодействия с ИС. Проанализированы существующие подходы к моделированию ИС, позволяющие реализовать основные аспекты адаптации.

В научной и технической литературе широко освещены методы моделирования автоматизированных систем управления (Р. Беллман, Я.З. Цыпкин, Е.В. Луценко, В.Н. Фомин, Ф. Чаки) с хорошо формализуемыми объектами управления, не включающие аспекты моделирования предметной области. Большая группа методов моделирования (Д.В. Ландэ, Н.В. Лукашевич, К.Д. Маннинг) ориентирована на реализацию адаптивного поиска и не предусматривает возможности других направлений адаптации. Подходы к моделированию адаптивных систем, изложенные в работах А.И. Башмакова, И.А. Башмакова, П. Де Бра, А.В. Соловова позволяют обеспечить адаптивное представление информации и адаптивную навигационную поддержку, но не учитывают возможность адаптивного поиска и адаптивного управления. Таким образом, существующие математические модели АдИС не позволяют объединить задачи адаптивного поиска, адаптивного представления информации, адаптивной навигации и адаптивного управления. В работе обоснованы необходимость и возможность единого подхода к формализации структуры контента, определения предела декомпозиции информационного наполнения систем на ИО.

В развитие существующих подходов к проектированию и реализации АдИС предложен подход на основе интегрированного комплекса математи-



ческих моделей (контента, траекторий предъявления ИО, функционирования АдИС), атрибутика которых включает сопоставимые или связанные характеристики, необходимые для адаптации.

**Во второй главе** формируется и обосновывается предложенный подход к математическому моделированию АдИС; приведен алгоритм адаптивного отбора контента, обеспечивающий реализацию основных функций адаптации; определены параметры информационных объектов, отображающие контент АдИС, и характеристики пользователя, используемые для адаптации.

Обобщены требования, которым должна удовлетворять АдИС. Как и в классических информационных системах, использующих только априорно заданную информацию, функционал АдИС должен обеспечивать: 1) структурирование и хранение контента; 2) автоматизированный поиск и выдачу контента, отвечающего запросу пользователя; 3) хранение и автоматический анализ данных о взаимодействии пользователей с АдИС.

Для реализации адаптивности необходимо воспринимать и обрабатывать динамично меняющиеся данные. Для этого в функционал АдИС следует включить: 1) оценку, хранение и анализ значений характеристик ПП на основании данных о взаимодействии пользователей с АдИС; 2) управление действиями пользователей с помощью корректировки результатов поиска и отбора контента.

Исходя из этого, выделены два класса моделей для АдИС:

- 1) **статические модели** – модель структуры контента (предусматривающая возможность поиска и навигации) и модель опорной траектории предъявления пользователю информационных объектов;
- 2) **динамические модели** – модель адаптивной траектории предъявления ИО пользователю, включающая опосредованное управление действиями пользователя, а также модель функционирования АдИС.

**Модель структуры контента** в работе представлена в виде совокупности  $\bar{\Omega} = (\bar{S}, <, \rightarrow)$ . Здесь  $\bar{S} = (L, \bar{A}, \bar{V}, \mu)$ ,  $L$  – конечное множество ИО, образующих контент АдИС;  $\bar{A} = \{a_1 \dots a_M\}$  – множество характеристик ИО;  $\bar{M}$  – количество характеристик,  $\mu: \bar{A} \rightarrow \bar{V}$  отображение, ставящее в соответствие

каждой характеристике  $a_i$  множество её допустимых значений  $V_i \in \bar{V} = \{V_1 \dots V_{\bar{M}}\}$ . Таким образом, каждый ИО представлен в виде множества упорядоченных пар вида:

$$\{\langle a_1, v_1 \rangle, \langle a_2, v_2 \rangle, \dots, \langle a_{\bar{M}}, v_{\bar{M}} \rangle\}. \quad (1)$$

Отношение вложенности  $<$  определяет иерархическую структуру контента:  $l_i < l_j$ , если  $l_j$  детализирует содержание  $l_i$ ,  $\forall l_i, l_j \in L$ . Через  $d(l_i, l_j)$  обозначена длина пути из вершины  $l_i$  в вершину  $l_j$  дерева  $(L, <)$ . ИО  $l_i \in L$  будем называть *агрегирующим* (и обозначать  $\hat{l}$ ), если  $\exists l_j \in L : l_i < l_j$  и *атомарным* – в противном случае. Такое разграничение позволяет упростить выявление связей между ИО (для групп объектов), задание значений характеристик ИО, построение требуемых алгоритмов.

Отношение предшествования  $\rightarrow$  задает логическую последовательность предъявления информационных объектов:  $l_i \rightarrow l_j$ , если содержание  $l_i$  предваряет содержание  $l_j$ ,  $\forall l_i, l_j \in L$ .  $\rightarrow$  позволяет определить предел декомпозиции информационных объектов: если  $L(\hat{l}) = \{l \in L : d(\hat{l}, l) = 1\}$  и  $l$  – атомарный, то  $\forall l_i \in L(\hat{l}) \neg \exists l_j \in L(\hat{l}) : l_i \rightarrow l_j$ . Отношение  $<$  задает на множестве  $L$  частичный порядок. Аналогичное утверждение справедливо и для отношения  $\rightarrow$ .

Представление модели контента в виде совокупности ИО двух типов, их характеристик, а также явное задание связей между ИО, позволяет в дальнейшем реализовать опосредованное управление действиями пользователя с помощью корректировки результатов поиска и отбора контента.

**Модели траекторий предъявления пользователю информационных объектов контента** строятся на базе сопоставимых характеристик ИО и профиля пользователя. К ним относятся:  $A$  – множество характеристик ИО, используемых для адаптации,  $A = \{a_1 \dots a_M\} \subseteq \bar{A}$ ;  $V = \{V_1 \dots V_M\} \subseteq \bar{V}$ ,  $M \leq \bar{M}$ ;  $\bar{B}$  – множество всех характеристик ПП;  $\bar{W}$  – семейство множеств их допусти-

мых значений;  $\eta : \bar{B} \rightarrow \bar{W}$ ;  $B \subseteq \bar{B}$  - множество характеристик ПП, используемых для адаптации,  $W = \{W_1 \dots W_N\} \subseteq \bar{W}$ ,  $N$  - количество характеристик.

Выделены два типа характеристик ПП ( $B = B^S \cup B^O$ ,  $B^S \cap B^O = \emptyset$ ):

1) *субъективные* характеристики  $B^S = B_P^S \cup B_R^S$ , где  $B_P^S = \{b_1 \dots b_{N_P}\}$  - предпочтения пользователя по выбору контента;  $B_R^S = \{b_{N_P+1} \dots b_{N_S}\}$  - ограничения, накладываемые на процесс взаимодействия с АдИС; значения субъективных характеристик задаются пользователем, в т.ч. и динамически (на любом этапе взаимодействия);

2) *объективные* характеристики  $B^O = \{b_{N_S+1} \dots b_N\}$ , значения которых определяются системой по результатам взаимодействия пользователя с очередным информационным объектом контента.

Субъективные характеристики определяют параметры запроса пользователя на получение контента. Этот запрос может быть представлен в виде множества упорядоченных троек:

$$\left\{ \langle b_1, w_1, f_1 \rangle, \langle b_2, w_2, f_2 \rangle, \dots, \langle b_{N_S}, w_{N_S}, f_{N_S} \rangle \right\} \quad f_i = F(b_i), \quad \sum_{i=1}^{N_S} f_i = 1, \quad (2)$$

где: отношение  $F : B^S \rightarrow [0,1]$  ставит в соответствие каждой субъективной характеристике весовой коэффициент её значимости для пользователя;  $\lambda_S : B^S \rightarrow A$  отображение, ставящее в соответствие субъективным характеристикам ПП характеристики ИО. Величина  $\beta : B^O \rightarrow B^S$  определяет соответствие объективных и субъективных характеристик ПП. Тогда  $\lambda_O : B^O \rightarrow A$ ,  $\lambda_O = \lambda_S \circ \beta$  - отображение, ставящее в соответствие совокупности объективных характеристик ПП набор характеристик ИО.

Если для значений характеристик информационного объекта и профиля пользователя имеет место соотношение:

$$\forall i = 1..M : \left| a_i - \lambda_S(b_{k_1}, \dots, b_{k_i}) \right| \leq e_i, \quad (3)$$

где  $a_i \in A$ ,  $1 \leq k_i \leq N_S$ ,  $b_{k_i} \in B^S$ , а  $e_i$  – критические значения, определяемые экспертным путем, то ИО *соответствует* субъективным характеристикам ПП. Если при этом аналогичные соотношения имеют место для объективных характеристик, то ИО соответствует ПП в целом.

Отображение взаимодействия пользователя с АдИС включает два этапа: разработка модели опорной траектории и конкретизация модели адаптивной траектории. Первая модель имеет вид  $TR^{on} = (\Omega, B^S, F, \lambda_S, \rho)$ , где  $\Omega = (S, <, \rightarrow)$ ,  $S = (L, A, V, \mu)$ .  $TR$  представляет собой совокупность подмножества ИО контента  $Q$  и отношения  $\mapsto$ . Полагаем, что  $l_i \mapsto l_j$ , если ИО  $l_i$  был предъявлен пользователю раньше ИО  $l_j$ ,  $\forall l_i, l_j \in Q \subseteq L$ . При этом  $l_i \rightarrow l_j \Rightarrow l_i \mapsto l_j, \forall l_i, l_j \in Q$ . Обратное не верно. Построение опорной траектории пользователя  $u$  ( $TR^{on}$ ) основывается на выделении кластеров пользователей, обладающих близкими значениями характеристик профилей. Функция  $\rho$  определяет меру сходства ПП на основе субъективных параметров  $B^S$ . Поскольку смысл характеристик и шкалы измерения их значений могут варьироваться, в качестве меры сходства можно предложить, например, коэффициент Гауэра, который допускает одновременное использование признаков, измеренных в различных шкалах:

$$\rho = \rho(B^S(u), B^S(v)) = \sum_{i=1}^{N_S} G_i^{uv} \cdot f_i^u / \sum_{i=1}^{N_S} f_i^u, \quad v \in U, \quad (4)$$

где  $G_i^{uv}$  – разность значений признаков (способ вычисления определяется видом шкалы измерения),  $f_i^u$  – весовой коэффициент признака, задаваемый пользователем  $u \in U$ ,  $U$  – множество всех пользователей системы. Через  $C^u \subset U$  обозначен кластер, к которому отнесен пользователь  $u$ .

Опорная траектория предъявления ИО пользователю  $u \in U$  ( $TR^{on}(u)$ ) выбирается из множества  $\{TR(v)\}$ , где  $v \in C^u$ , с учетом ограничений  $B_R^S$ , исходя из условия:

$$TR^{on}(u) = TR(v) : \exists (B^S(v), B^O(v)) \xrightarrow{\forall v \in C^u} \min. \quad (5)$$

Модель адаптивной траектории предъявления ИО пользователю определяется совокупностью  $TR = (\Omega, B, F, \lambda_S, \beta, \varphi, )$ . Параметры модели – как субъективные, так и объективные характеристики профиля пользователя. Мера сходства ПП задается функцией:  $\varphi = \varphi(B(u), B(v))$ , где  $B = B^S \cup B^O$ . Значения характеристик  $B^O$  и функции  $\varphi$  изменяются после прохождения пользователем очередного ИО. Изменение значений  $B^S$  инициирует пользователь. Такая модель позволяет адаптировать представление контента пользователю в соответствии с динамически изменяющимися характеристиками его профиля.

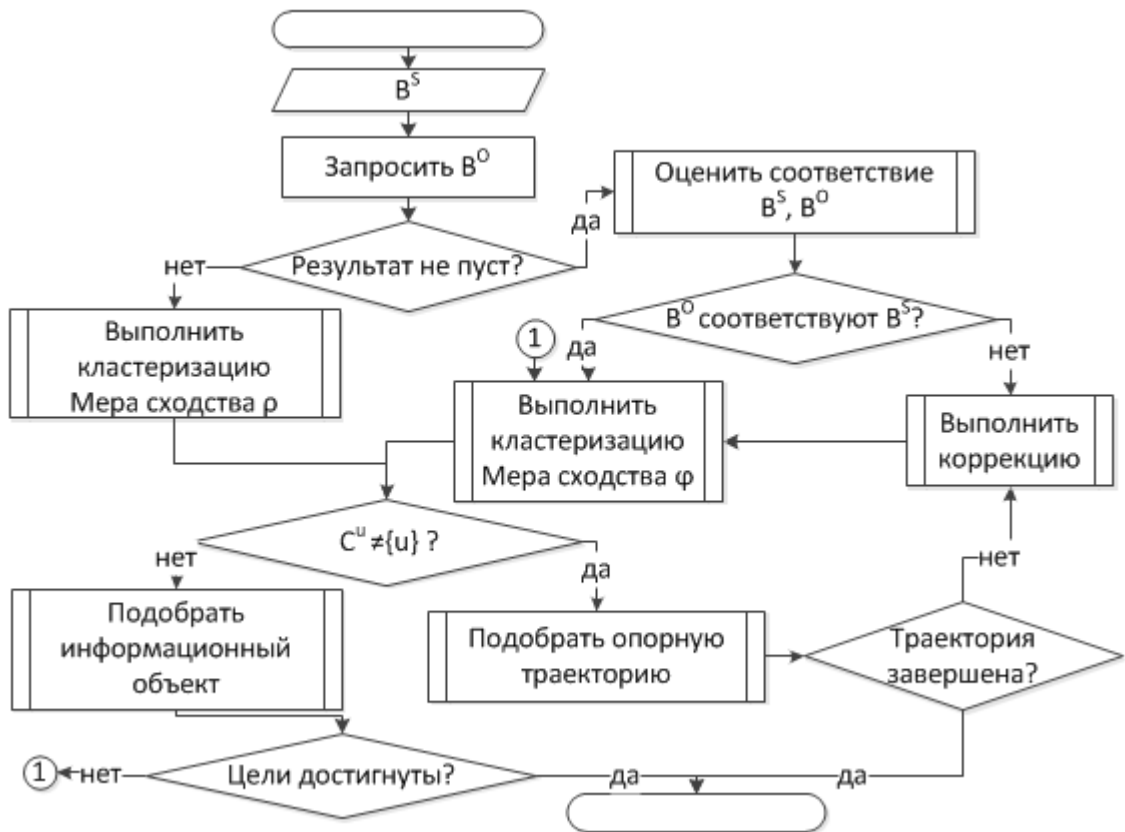


Рис.1. Алгоритм формирования адаптивной траектории

На рис.1 в обобщенном виде представлен алгоритм динамического адаптивного отбора контента на основании субъективных и объективных характеристик ПП. Алгоритм включает: оценку соответствия субъективных и объективных характеристик ПП; выбор опорной траектории для пользователей, отнесенных к определенному кластеру. Для подбора ИО используются усло-

вия (3). Под достижением целей в условиях заданных ограничений понимается установление равенства значений объективных характеристик значениям субъективных характеристик ПП (или превышение последних).

Для построения модели функционирования АдИС использован *автоматный* подход, т.к. процесс изменения параметров АдИС и алгоритмов адекватно описывается в терминах перехода системы из одного *состояния* в другое в зависимости от потока входных данных. Модель функционирования АдИС представлена в виде совокупности адаптивно управляющего автомата (УА) и объекта управления (поведение АдИС).

УА имеет вид  $(D, Y, Z, y_0, \zeta, \delta)$ , где  $D = D_X \times D_E$  – множество входных воздействий, состоящее из компоненты  $D_E$ , порождаемой внешней средой, и компоненты объекта управления  $D_X$ .  $Y$  – множество управляющих состояний;  $y_0 \in Y$  – начальное состояние (в нем пользователь формирует запрос на получение контента);  $Z$  и  $\zeta : D \times Y \rightarrow Z$  – множество и функция выходных воздействий соответственно;  $\delta : D \times Y \times B_R^S \rightarrow Y$  – функция переходов, которая в отличие от стандартных зависит не только от текущего состояния  $y$  и входных воздействий, определяющих предпочтения пользователя  $B_P^S$ , но и от заданных ограничений  $B_R^S$ . Таким образом, для любого состояния  $y$  определен набор состояний, правила перехода в которые обусловлены соблюдением/ нарушением ограничений при прохождении предыдущих состояний.

Полагая, что  $W_i = \bigcup_{j=1}^{N_Y} W_{ij}$ ,  $\forall i = N_P + 1..N_S$ , имеем

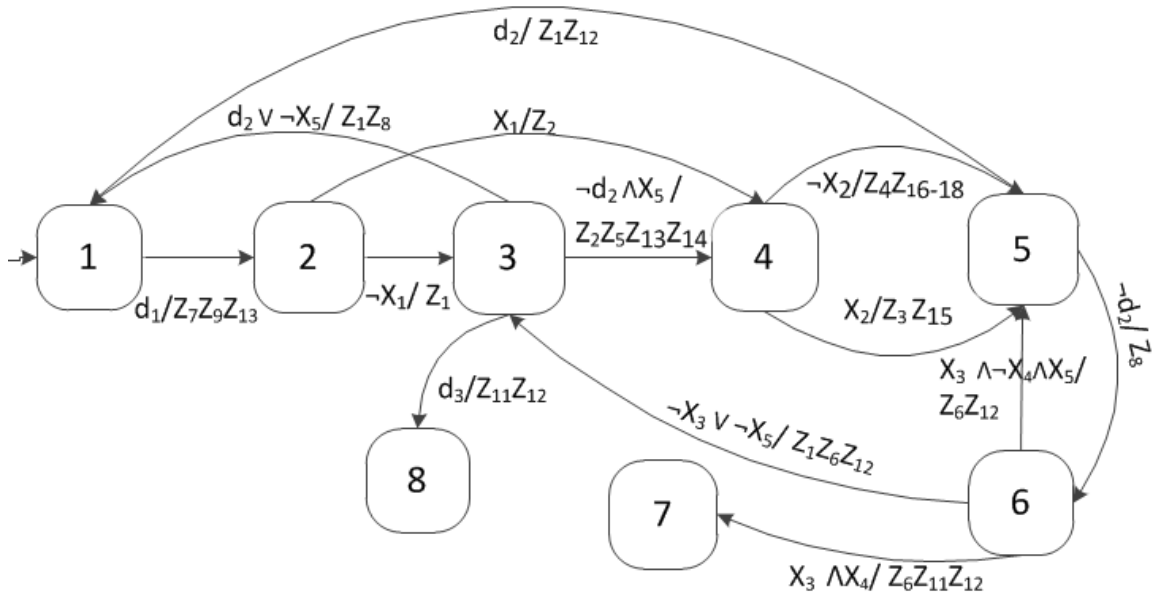
$$\forall y \in Y \quad \exists y_1 \supset y_2 \supset \dots \supset y_{N_y} : w_i \in W_{ij}, \quad \forall i = N_P + 1..N_S \Rightarrow$$

(6)

переход в  $y_j$ ,  $j = 1..N_y$ .

Функция  $\delta$  задана в виде диаграммы переходов, представленной на рис.2. Элементы множества входных воздействий  $D_E$  определяют действия пользователя ( $d_1, d_2$  – задание и изменение значений субъективных характеристик соответственно,  $d_3$  – принудительное завершение взаимодействия);

значения элементов множества  $D_X$  определяются на основе параметров модели адаптивной траектории  $TR = (\Omega, B, F, \lambda_S, \beta, \varphi)$  ( $x_1 - B^S$  соответствуют  $B^O$ ,  $x_2 - C^u$  определен,  $x_3$  – требования к ИО выполнены,  $x_4 - TR$  завершена,  $x_5 - B_R^S$  соблюдены).



1-Вход, 2-Оценка соответствия, 3-Коррекция, 4-Кластеризация, 5-Предъявление траектории, 6-Предъявление ИО, 7-Выход(+), 8-Выход (-)

Рис.2. Диаграмма переходов адаптивно управляющего автомата

Особенностью данной модели является наличие двух допускающих состояний: в состоянии (7) управляющий автомат переходит, если пользователь достигает поставленных целей с учетом заданных ограничений, в состоянии (8) - в противном случае.

Предложенная совокупность математических моделей позволяет обеспечить возможность комплексной адаптации, поскольку параметры моделей и связи между ними жестко не фиксируются и могут варьироваться в зависимости от вида АдИС и решаемых на ее основе задач.

Разработанные модели и алгоритмы были конкретизированы для СЭО. В этом случае характеристики ИО и ПП интерпретируются как: уровень сложности  $a_1 /$  уровень подготовки  $b_1$ ; тип объекта  $a_2 / b_2$ , время  $a_3 / b_3$ . Значения  $a_1, a_2, a_3$  определяются разработчиком контента, значения  $b_1, b_2, b_3$  – задаются пользователем при формировании запроса на получение контента ( $b_1$  и  $b_2$

определяют предпочтения,  $b_3$  является ограничением). В качестве функции соответствия параметров  $a_1$  и  $b_1$  была использована логистическая функция Г. Раша

$$\lambda_S(a_1, b_1) = e^{(a_1 - b_1)} / (1 + e^{(a_1 - b_1)}), \quad (7)$$

позволяющая определить вероятность выполнения требований к ИО сложности  $a_1$  пользователем с уровнем подготовки  $b_1$ .

Определены следующие объективные характеристики ПП: 1)  $b_4$  - время, затраченное на взаимодействие с объектом; 2)  $b_5 \in \{-1, 0, 1\}$  - статус объекта (выдан/находится в обработке/завершен); 3)  $b_6 \in \{0, 1\}$  - результат (требования к объекту выполнены / не выполнены пользователем),  $b_6 = 1 \Rightarrow b_5 = 1$ .

Для агрегирующего ИО  $\hat{l}$  значения объективных характеристик являются вычисляемыми: если  $\tilde{L} = \{l \in L: d(\hat{l}, l) = 1\}$ , то

$$b_4(\hat{l}) = \sum_{\forall l \in Q \cap \tilde{L}} b_4(l), \quad (8)$$

$$b_5(\hat{l}) = \begin{cases} 1, & \forall l \in Q \cap \tilde{L} \Rightarrow b_5(l) = 1 \\ 0, & \exists l \in Q \cap \tilde{L} \Rightarrow b_5(l) = 0 \end{cases}, \quad b_6(\hat{l}) = \begin{cases} 1, & \forall l \in Q \cap \tilde{L} \Rightarrow b_6(l) = 1 \\ 0, & \exists l \in Q \cap \tilde{L} \Rightarrow b_6(l) = 0 \end{cases}. \quad (9)$$

Для агрегирующих ИО также определяется уровень подготовки пользователя  $b_7 = \chi(b_5, b_6)$ , его значение может быть вычислено на основе модифицированных методов латентно-структурного анализа, учитывающих возможность предъявления пользователям различного количества разных ИО.

Меры сходства в моделях опорной и адаптивной траекторий имеют вид:

$$\rho = \rho(B^S(u), B^S(v)) = \sum_{i=1}^{N_S} G_i^{uv} \cdot f_i^u / \sum_{i=1}^{N_S} f_i^u, \quad v \in U, \quad (10)$$

$$G_i^{uv} = 1 - \left| \frac{b_1^u - b_1^v}{\sup W_1 - \inf W_1} \right|, \quad i = 1, 3, \quad G_2^{uv} = \begin{cases} 1, & b_2^u = b_2^v = 1 \\ 0, & b_2^u = 0 \text{ или } b_2^v = 0 \end{cases},$$

$$\varphi = \varphi(B(u), B(v)) = \rho(B^S(u), B^S(v)) + \frac{1}{(\sup W_1 - \inf W_1)^2} \sum_{\forall l \in Q_{uv}} (b_7(u) - b_7(v))^2,$$

где  $Q_{uv} = Q(u) \cap Q(v)$ .



Третья глава посвящена проектированию АдИС на примере системы электронного обучения с учетом подходов и моделей, рассмотренных выше.

В качестве основы для построения адаптивной СЭО использована система электронного обучения Moodle. Выполнено построение информационной модели системы, расширяющей существующую модель отношениями, которые отображают параметры предложенных моделей и связи между ними. На рис.3 приведена схема полученной адаптивной системы. Выполненные автором подсистемы и сущности хранилища данных выделены курсивом.



Рис. 3. Схема адаптивной системы электронного обучения

Разработанная адаптивная система электронного обучения представляет собой web-ориентированный программный комплекс, предназначенный для решения следующих основных задач: а) хранение и редактирование информации об ИО, образующих контент системы, и связях между ними; б) предоставление пользователю инструментов для задания значений характеристик, определяющих его предпочтения и ограничения на взаимодействие с системой; в) предоставление пользователю контента, соответствующего характеристикам его профиля; г) хранение и обработка значений объектив-

ных характеристик пользователя; д) реализация алгоритмов кластеризации и адаптивного динамического формирования последовательностей информационных объектов.

Для анализа полноты соответствия контента системы характеристикам пользователей был проведен вычислительный эксперимент, включающий 1) генерацию структуры контента (задавались глубина вложенности агрегирующих ИО, случайным образом определялись количество атомарных ИО и значения характеристик ИО); 2) случайное задание значения уровня подготовки пользователей; 3) формирование траекторий предъявления атомарных ИО в соответствии с алгоритмом динамического отбора контента.

Результаты вычислительного эксперимента представлены на примере следующей серии прогонов с фиксированными характеристиками контента и варьируемым уровнем подготовки пользователей: 1) количество уровней контента иерархии – 4; 2) количество агрегирующих объектов – 30; 3) количество атомарных объектов – 1000; 4) минимальное количество предъявляемых атомарных объектов – 3; 5) максимальное количество повторных предъявлений каждого атомарного ИО (max) – 10; 6) количество пользователей – 100; 7) критическое значение ( $e_1$ ) – 1; 8) частотное распределение атомарных ИО по уровню сложности  $a_1$  и варианты распределений пользователей по уровню подготовки  $b_1$  представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры и результаты вычислительного эксперимента

Параметры эксперимента					Результат эксперимента: среднее число предъявлений ИО, в % от max		
Интервалы изменения $a_1$ и $b_1$	Относи- тельная частота $a_1$	Относительная частота $b_1$			№1	№2	№3
		№1	№2	№3			
[0,1]	0,00	0,00	0,07	0,08	-	-	-
(1,2]	0,00	0,00	0,14	0,13	-	-	-
(2,3]	0,07	0,07	0,29	0,17	36%	100%	100%
(3,4]	0,14	0,14	0,29	0,08	64%	100%	100%
(4,5]	0,29	0,29	0,14	0,04	74%	100%	54%
(5,6]	0,29	0,29	0,07	0,04	80%	82%	62%
(6,7]	0,14	0,14	0,00	0,08	97%	7%	100%
(7,8]	0,07	0,07	0,00	0,17	75%	0%	100%
(8,9]	0,00	0,00	0,00	0,13	-	-	-

(9,10]	0,00	0,00	0,00	0,08	-	-	-
--------	------	------	------	------	---	---	---

В ходе вычислительного эксперимента определен процент атомарных объектов траекторий пользователей, соответствующих уровню подготовки последних. Для первого прогона он составил 99,95%, для второго – 68,33%, для третьего – 77,91%. Данный факт объясняется максимально возможным, в т.ч. повторным, использованием ИО из одних интервалов и слабым использованием из других в прогонах 2 и 3.

## **Основные результаты работы**

1. В развитие методов математического моделирования контента предложен подход к формализации структуры контента, основанный на стандарте IEEE LOM, который был расширен заданием на множестве информационных объектов отношений вложенности и предшествования. Это позволило учесть иерархический характер контента, а также возможные зависимости между информационными объектами, налагающие ограничения на порядок их предъявления, в том числе для объектов, относящихся к различным ветвям иерархии.
2. Разработан метод кластеризации пользователей (профилей), применяемый для определения опорной траектории. В качестве аргументов функции, задающей степень сходства пользователей, использовались введенные в работе субъективные и объективные характеристики профилей пользователей.
3. Разработаны алгоритмы статического и динамического отбора контента, применение которых в комплексе позволило организовать выбор опорной траектории предъявления пользователю информационных объектов контента на основании кластеризации пользователей по их субъективным характеристикам, а также обеспечить коррекцию опорной траектории с учетом динамически изменяющихся значений объективных характеристик пользователя.
4. Предложенные подходы, модели и алгоритмы успешно апробированы при проектировании, реализации и использовании подсистем «Конструктор курсов» и «Диспетчер учебных траекторий» системы электронного обучения Moodle.
5. Предложенный подход к моделированию адаптивных информационных систем в силу варьированности параметров моделей и связей между ними мо-

жет быть использован для развития адаптивного функционала различных видов информационных систем (в частности, поисковых информационных систем, обладающих иерархически структурированным контентом).

## **Список публикаций по теме диссертации**

### *Публикации в рецензируемых периодических изданиях*

1. Охотникова Е.С. Математические методы и модели в современных системах управления обучением /Е.С. Охотникова // Вестник Тюменского государственного университета.– Тюмень: издательство ТюмГУ, 2007. – №5. – С. 86-94.
2. Охотникова Е.С. Математические модели вариативных электронных учебных курсов / И.Г. Захарова, Я.В. Ланг, Е.С. Охотникова // Вестник Тюменского государственного университета. – Тюмень: издательство ТюмГУ, 2008. – №6. – С. 172-176.
3. Охотникова Е.С. Математическое моделирование взаимодействия пользователя с адаптивной информационной системой/Е.С. Охотникова// Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: издательство НТВП, 2012. – №1. – С.208-212.

### *Публикации в сборниках научных статей и трудах международных и всероссийских научных конференций*

4. Охотникова Е.С. Один из способов реализации личностно - ориентированного подхода к обучению студентов/Е.С. Охотникова //Формирование инновационного потенциала вузов в условиях Болонского процесса: Материалы международной научно-методической конференции. - Тюмень: издательство ТюмГУ, 2007. - С. 318-321.
5. Охотникова Е.С. Применение систем управления обучением в традиционном очном образовании /Е.С. Охотникова // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-21: сборник трудов XXI Международной научной конференции. - Т.9, Саратов: издательство СГТУ, 2008. - С. 221-224.
6. Охотникова Е.С. Моделирование структуры контента и индивидуальных траекторий прохождения учебного курса для систем поддержки образовательного процесса /Е.С. Охотникова// Математическое и информационное

моделирование: сборник научных трудов. - Вып 10, Тюмень: Вектор Бук, 2008. - С. 179-185.

7. Охотникова Е.С. Реализация модульно-рейтинговой системы в электронном обучении/Е.С. Охотникова// Новые информационные технологии в образовании: материалы международной научно-практической конференции. – Екатеринбург, 2009. – Ч.2. - С. 93-94.

8. Охотникова Е.С. Возможность применения математических моделей построения индивидуальных траекторий прохождения учебного курса в системах управления обучением/ Е.С. Охотников, Е.С. Охотникова // Информационные технологии в науке и образовании: Материалы международной научно-практической интернет – конференции. – Шахты: ЮРГУЭС, 2009. – С. 37-40.

9. Охотникова Е.С. Один из подходов к оценке качества учебного курса на основе методов экспертного оценивания / Е.С. Охотников, Е.С. Охотникова// Информационные технологии в образовании: Сборник трудов XIX ежегодной международной конференции-выставки. – Ч.5. – М: МИФИ, 2009. – С. 90-92.

10. Охотникова Е.С. Оценка качества учебного курса на основе индивидуальной модели обучаемого / Е.С. Охотникова // Информационные технологии в образовании: Материалы международной конференции. – Т.2. – М: издательство МГТУ МИРЭА, 2010. – С. 270-274.

11. Охотникова Е.С. Электронное обучение в высшем образовании и методы повышения его эффективности/ Е.С. Охотникова // Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ в области технологий электронного обучения в образовательном процессе: Сборник научных работ.–Т.2.–Белгород: издательство БелГУ, 2010.–С.190-196.

12. Охотникова Е.С. Алгоритмы формирования вариативных траекторий прохождения учебного курса/ Е.С. Охотникова // Математическое и информационное моделирование: сборник научных трудов. – Вып. 12, Тюмень: Вектор Бук, 2010. - С. 151-158.

13. Охотникова Е.С., Охотников Е.С. Построение модели пользователя адаптивной информационной системы/ Е.С. Охотникова // Научная перспектива. – №10, Уфа: Инфинити, 2011. – С. 70-72.

14. Охотникова Е.С. Математическое моделирование контента адаптивной информационной системы (на примере систем электронного обучения) / Е.С. Охотникова // От инноваций к качеству образования: Материалы всероссийской научно-методической видеоконференции.–Тюмень: ТюмГНГУ, 2011.–С. 206-208.

15. Охотникова Е.С. Модель функционирования адаптивной информационной системы/ Е.С. Охотникова // Новые информационные технологии в образовании: материалы международной научно-практической конференции. – Екатеринбург: РГППУ, 2012. – С. 234-237.

***Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ***

16. Охотникова Е.С. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011610229 «ИС «Управление персонифицированным обучением»» от 11.01.2011.