

*На правах рукописи*

**ПУШКАРЕВ Александр Николаевич**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ИМИТАЦИОННОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСПЕРТНОГО  
ОЦЕНИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ**

**Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

**Тюмень – 2013**

Работа выполнена на кафедре программного обеспечения  
ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет»

**Научный  
руководитель:**

кандидат физ.-мат. наук, профессор  
**Захарова Ирина Гелиевна**

**Официальные  
оппоненты:**

**Ивашко Александр Григорьевич,**  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ  
ВПО «Тюменский государственный  
университет», директор Института математики  
и компьютерных наук - проректор по  
информационным технологиям

**Файзуллин Рашит Тагирович,**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВПО «Омский государственный  
технический университет», проректор по  
информатизации

**Ведущая  
организация:**

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный уни-  
верситет имени первого Президента России  
Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится «        » декабря 2013 г. в        часов на  
заседании диссертационного совета Д 212.274.14 при ФГБОУ ВПО  
«Тюменский государственный университет» по адресу 625003, г. Тюмень,  
ул. Перекопская, 15А, ауд. 410.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном  
центре ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет».

Автореферат разослан «        » ноября 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Е.А. Оленников

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Проблема выбора является одной из основных, с которыми человеку приходится сталкиваться на протяжении всей его жизни. Как следствие, ее влияние сказывается на всех сферах общественной жизни. В общем виде она сводится к задаче определения вероятности выбора некоторого объекта оценивающим его экспертом. В частности, вопрос выбора является ключевым в таком разделе экономической науки, как маркетинг, где он разработан достаточно глубоко. Наиболее известными математическими моделями и методами экспертного оценивания объекта, применяемыми в маркетинге, являются модель Розенберга, модель Фишбейна, модель с идеальной точкой, метод SERVQUAL, метод комплексной оценки товарной системы. Они основаны на подходе к оцениванию объекта через аддитивную функцию полезности, представляющую собой взвешенную сумму оценок по его отдельным параметрам. Главным достоинством данного подхода является учет того факта, что характеристики исследуемого объекта обладают различной значимостью для эксперта. Кроме того, слабая выраженность одних характеристик объекта может быть компенсирована сильной выраженностью других его характеристик, что также отражает один из принципов оценивания объекта экспертом. В то же время существующие математические модели и методы обладают рядом недостатков. Первый из них заключается в отсутствии возможности определения, какие именно характеристики объекта будут рассмотрены экспертом. Кроме того, в математических моделях и методах, применяемых в маркетинговых исследованиях, отсутствуют требования к шкалам, в которых должны быть выражены оценки объектов. Еще одной слабой стороной указанных моделей и методов является то, что они отражают лишь принципы, но не сам процесс формирования экспертом оценки объекта.

Достижения в сфере информационных технологий создали условия для разработки программных комплексов, реализующих

в себе математические модели и методы оценивания объекта. Идея использования опыта экспертов привела к появлению отдельного класса систем, называемых экспертными. Применение систем данного класса в таких областях человеческой деятельности, как сельское хозяйство, промышленность, медицина, управление рисками, экономика, социология и др., показало их эффективность при решении слабоформализуемых задач. Новым этапом в развитии систем обработки экспертных знаний явилась их интеграция с подходами к математической обработке данных, применяемыми для решения формализуемых задач. Результатом этого стало появление подкласса интегрированных экспертных систем, совмещающих в себе наряду с экспертной компонентой системы приобретения знаний, имитационного моделирования, управления базами данных, поддержки принятия решений и др. Исследованию интегрированных экспертных систем посвящены работы Рыбиной Г.В., Рыбина В.М., Демидова Д.В., Татарникова А.В., R. O'Keefe, K.J. Murray, S.V. Sheppard и др. Однако указанные системы ориентированы в первую очередь на объективную оценку объекта и не позволяют спрогнозировать его восприятие экспертом.

Таким образом, актуальность разработки подхода к моделированию процесса формирования экспертом оценки объекта и реализации созданных в его рамках математических моделей и методов в маркетинговой экспертной системе определяется значимостью проблемы выбора, недостатками существующих математических моделей и методов, применяемых для оценивания объекта, а также необходимостью проведения вычислительного эксперимента с использованием слабоформализуемых экспертных знаний.

**Целью** диссертационной работы является математическое моделирование и построение методов оценивания объектов экспертом и разработка на их основе маркетинговой экспертной системы.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие **задачи**:

- изучение существующих подходов к математическому моделированию процесса оценивания объекта экспертом;

- разработка математических моделей и методов процесса оценивания объекта экспертом;
- разработка имитационной модели процесса построения экспертной оценки объекта в маркетинговых экспертных системах;
- проектирование и разработка программного комплекса, обеспечивающего хранение, обработку и выдачу результатов вычислительного эксперимента, проведенного на основе предложенных математических моделей и методов.

**Объектом исследования** диссертационной работы являются информационные системы имитационного моделирования процесса экспертного оценивания объектов.

**Предмет исследования** – математическое моделирование, численные методы решения задачи оценивания объекта и их программная реализация на примере маркетинговой экспертной системы.

**Методы исследования.** При проведении исследования использовались методы математического и имитационного моделирования, линейной алгебры, стохастического и комбинаторного анализа. Для разработки и проектирования программного комплекса применялись методы системного анализа и объектно-ориентированного программирования.

**На защиту выносятся** следующие результаты, соответствующие трем пунктам паспорта специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ по техническим наукам:

*Пункт 1: Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений, перечисленных в формуле специальности.*

1. Новый математический метод моделирования процессов оценивания, сравнения и выбора объекта экспертом, позволяющий на основе атрибутивной модели объекта и стохастической модели эксперта получить оценку вероятности вынесения экспертом положительного заключения касательно исследуемого объекта.

*Пункт 4: Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.*

2. Программный комплекс «Маркетинговая экспертная система» состоит из двух программных элементов: подсистемы имитационного моделирования и подсистему статистического анализа результатов вычислительного эксперимента. Разработанный программный комплекс внесен в Реестр программ для ЭВМ с регистрационным № 2013618322.

*Пункт 8: Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования.*

3. Подсистема имитационного моделирования процессов оценивания, сравнения и выбора объекта экспертом. Разработанная подсистема внесена в Реестр программ для ЭВМ с регистрационным № 2013614467.

**Научная новизна** работы по трем областям специальности 05.13.18 отражена в следующих результатах:

Математическое моделирование

- Предложены новые подходы к математическому моделированию процессов оценивания/сравнения/выбора объекта экспертом. В рамках каждого подхода созданы математические модели оценивания/сравнения/выбора, отражающие различные принципы формирования экспертной оценки.
- Численные методы
- Разработан новый численный метод оценивания вероятности вынесения экспертом положительного заключения касательно исследуемого объекта на основе атрибутивной модели объекта и стохастической модели эксперта.
- Комплексы программ
- Спроектирована и программно реализована маркетинговая экспертная система, позволяющая получать прогнозы на основе многократной прогонки имитационной модели исследуемых процессов с варьированием значений параметров, характеристик объектов и предпочтений экспертов.

**Теоретическая значимость.** Впервые предложены подходы, позволяющие формализовать этапы формирования экспертной оценки объекта, учесть взаимное влияние сравниваемых объектов на вероятность их предпочтения экспертом, а также учесть вероятность отказа эксперта от выбора из множества сопоставляемых объектов.

**Практическая значимость** работы состоит в проектировании и разработке на основе предложенных подходов к математическому моделированию процессов оценивания/сравнения/выбора объекта экспертом программного комплекса, представляющего собой маркетинговую экспертную систему. Система предоставляет возможность строить прогнозы на основе результатов вычислительного эксперимента для объектов с заданными наборами параметров и экспертов с определенными предпочтениями.

Также практическая значимость работы обусловлена тем, что описываемые в ней математические модели и методы могут применяться для оценивания объектов различной природы, например, товаров и услуг, предприятий, кандидатов на выборные должности, политических партий и программ и т.д.

**Реализация и внедрение результатов работы.** На базе разработанного программного комплекса был проведен анализ качества системы услуг дополнительного образования детей и молодежи по научно-техническому профилю Тюменской области, результаты которого были включены в научно-исследовательский отчет «Разработка Концепции модернизации и развития дополнительного образования детей и молодежи по научно-техническому профилю в Тюменской области (на 2013-2015 годы и на перспективу до 2020 года)».

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и семинарах: Третья региональная научно-практическая конференция «Современные проблемы математического и информационного моделирования. Перспективы разработки и внедрения инновационных IT-решений» (Тюмень, 2010),

Седьмая всероссийская научно-техническая конференция «Информационные системы и модели в научных исследованиях, промышленности, образовании и экологии» (Тула, 2010), Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы развития современного общества» (Тюмень, 2011), Четвертая региональная научно-практическая конференция «Современные проблемы математического и информационного моделирования. Перспективы разработки и внедрения инновационных IT-решений» (Тюмень, 2011), Всероссийская научно-практическая конференция «Новые технологии – нефтегазовому региону» (Тюмень, 2012), Пятая межрегиональная научно-практическая конференция «Современные проблемы математического и информационного моделирования. Перспективы разработки и внедрения инновационных IT-решений» (Тюмень, 2012), V Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании» (Тюмень, 2012), международная научно-практическая конференция «Информатизация образования: история, состояние, перспективы» (Омск, 2012), Конференция молодых инноваторов и ученых «Инновационный путь развития отечественной экономики» (Тюмень, 2012), Региональная научно-практическая конференция молодых инноваторов «Новые векторы развития науки и техники в Тюменской области» (Тюмень, 2013), XIII Международная научно-практическая конференция «Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике» (Новочеркасск, 2013), Шестая научно-практическая межрегиональная конференция «Современные проблемы математического и информационного моделирования. Перспективы разработки и внедрения инновационных IT-решений» (Тюмень, 2013).

В рамках заказа Департамента по спорту и молодежной политике Тюменской области разработанный программный комплекс был использован для оценивания качества системы услуг дополнительного образования детей и молодежи по научно-техническому профилю в Тюменской области. Результаты исследования были



учтены при разработке стратегии совершенствования системы дополнительного образования детей и молодежи по научно-техническому профилю в Тюменской области.

**Публикации.** По теме диссертационной работы автором опубликовано 15 печатных работ, в том числе 3 в рецензируемых журналах из перечня ВАК, а также получены 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 107 наименований, и приложения. Общий объем работы составляет 121 страницу, в том числе 8 рисунков и 12 таблиц.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, перечислены основные результаты работы.

**Первая глава** носит обзорный характер. В этой главе рассмотрена история развития теории экспертных систем и проанализированы основные подходы к созданию подкласса интегрированных экспертных систем, позволяющих использовать преимущества слабоформализуемого опыта экспертов и достоинства методов математической обработки данных. Исследованию интегрированных экспертных систем, обладающих функционалом имитационного моделирования, посвящены работы Рыбиной Г.В., Рыбина В.М., Демидова Д.В., Татарникова А.В., R. O'Keefe, K.J. Murray, S.V. Sheppard и др. Включение в экспертную систему компоненты имитационного моделирования позволяет, используя экспертные оценки значимости каждой характеристики объектов определенного класса, осуществлять имитационную прогонку на математических моделях процесса оценивания объектов. Это обеспечивает возможность прогнозировать степень предпочтительности объекта с заданной степенью реализованности характеристик для данной группы экспертов. Решение этих задач основывается на маркетинговых моделях и методах математической обработки экспертных оценок.

Исследованию математических моделей и методов, применяемых в маркетинговых исследованиях для получения экспертных оценок объектов, посвящены работы М. Rosenberg, М. Fishbein, А.А. Алексеева, Г.Л. Багиева и др. В главе проанализированы основные подходы к оцениванию объектов в маркетинге, сформулирован ряд проблем, возникающих при их реализации и применении.

Выделены следующие общие особенности данных подходов:

1. Объект представляется в виде совокупности характеристик.
2. Каждая характеристика обладает определенной степенью значимости для эксперта.
3. На решение эксперта оказывает влияние степень реализованности характеристик оцениваемого объекта.
4. Эксперты отдают предпочтение тем объектам, в которых наиболее значимые для них характеристики обладают большей степенью реализованности.

В то же время существует ряд проблем, которые снижают эффективность вышеупомянутых моделей процесса оценивания объекта:

1. В расчете оценок задействованы все характеристики объекта, включая малозначимые для эксперта. В результате те характеристики, которые с высокой долей вероятности не были бы рассмотрены экспертом, оказывают влияние на получаемые оценки, смещая их значения.
2. Оценка объекта определяется без учета динамики хода самого процесса оценивания. Как следствие, не учитывается множество ситуаций, когда эксперт выносит решение, рассмотрев только часть характеристик объекта.
3. Не учитывается порядок рассмотрения экспертом характеристик исследуемого объекта, что также снижает точность получаемых оценок.
4. Отсутствует учет стохастической составляющей процесса оценивания объекта. Эксперты со сходными предпочтениями могут по-разному оценивать один и тот же объект в силу наличия вариации параметров моделируемого процесса оценивания.

5. Сравнение объектов сводится к сопоставлению оценок, полученных обособленно по каждому объекту из множества исследуемых.

Эти и другие причины приводят к проблеме усовершенствования существующих подходов и разработке новых.

Проведенный анализ показал актуальность дополнительных исследований в области разработки маркетинговой экспертной системы в плане включения в нее компоненты имитационного моделирования, использующую усовершенствованные математические модели и методы оценивания и сравнения объектов.

**Во второй главе** формализуется проблема оценивания, сравнения и выбора объекта экспертом, строятся математические модели и методы указанных процессов. В отличие от существующих подходов (аддитивная функция полезности, деревья решений) предлагается рассматривать оценку объекта как результат *процесса* поэтапного стохастического оценивания его характеристик экспертом.

В математической модели процесса оценивания объект  $O$  определяется совокупностью характеристик  $\{k_i\}$  ( $i \in \tilde{M} = \{1, 2, \dots, M\}$ ) с реализованностью  $\{z_i \in [0, 1]\}$  ( $i \in \tilde{M}$ ). Каждому эксперту ставятся в соответствие оценки значимости  $\{w_i \in [0, 1]\}$  ( $i \in \tilde{M}$ ), определяемые им для  $\{k_i\}$ . В процессе оценивания на  $m$ -м шаге происходит переход из состояния  $S_{i_m}$  определения реализованности  $z_{i_m}$  для  $k_{i_m}$  в состояние  $S_{i_{m+1}}$  ( $i_m \neq i_{m+1}$ ). Исследуемый процесс заканчивается переходом в поглощающие состояния  $T$  (положительное заключение эксперта об  $O$ ) или  $F$  (отрицательное заключение). В различных моделях процесса оценивания  $i_m$  и  $i_{m+1}$  детерминированы или имеют случайный характер. Таким образом, последовательное оценивание экспертом объекта  $O$  по  $\{k_i\}$  представляет собой марковский процесс с поглощением, в котором переходы осуществляются между элементами пространства состояний  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_M, T, F\}$ .

Для  $\{S_i\}$  ( $i \in \tilde{M}$ ) задается начальный вектор вероятностей  $v$ :

$$v = (v_1(w_1), v_2(w_2), \dots, v_M(w_M)), \sum_{i=1}^M v_i(w_i) = 1 \quad (1)$$

Здесь элемент  $v_i(w_i)$  ( $i \in \tilde{M}$ ) определяет вероятность, что  $S_{i_1} = S_i$ .

Вероятности переходов  $S_{i_m} \rightarrow T$ ,  $S_{i_m} \rightarrow F$  и  $S_{i_m} \rightarrow S_{i_{m+1}}$ :

$$p_{i_m}^T = \dot{f}(w_{i_1}, \dots, w_{i_m}, z_{i_1}, \dots, z_{i_m}); \quad (2)$$

$$p_{i_m}^F = \dot{g}(w_{i_1}, \dots, w_{i_m}, z_{i_1}, \dots, z_{i_m}); \quad (3)$$

$$p_{i_m}^{i_{m+1}} = \dot{h}(w_{i_1}, \dots, w_{i_m}, w_{i_{m+1}}). \quad (4)$$

Используя общие подходы теории марковских процессов, можно получить оценки параметров моделируемого процесса, например, вероятности  $p_T$  и  $p_F$  вынесения экспертом соответственно положительного и отрицательного заключений об  $O$ . Для этого из (2)-(4) определяются фундаментальная матрица  $N$  исследуемого процесса и матрица  $R$  вероятностей переходов из  $\{S_i\}$  в  $T$  и  $F$ . Элементы двухкомпонентного вектора  $p = v \cdot N \cdot R$  представляют собой  $p_T$  и  $p_F$ .

В рамках предлагаемого подхода в исследовании разработаны различные модели процесса оценивания объекта.

*Модель беглого оценивания объекта* предполагает, что  $v_i = w_i$  ( $i \in \tilde{M}$ ).

Вероятность переходов  $S_{i_m} \rightarrow T$ ,  $S_{i_m} \rightarrow F$  и  $S_{i_m} \rightarrow S_{i_{m+1}}$  ( $i_m, i_{m+1} \in \tilde{M}$ ):

$$p_{i_m}^T = w_{i_m} \cdot z_{i_m}; \quad (5)$$

$$p_{i_m}^F = w_{i_m} \cdot (1 - z_{i_m}); \quad (6)$$

$$p_{i_m}^{i_{m+1}} = \begin{cases} w_{i_{m+1}}, & i_m \neq i_{m+1} \\ 0, & i_m = i_{m+1} \end{cases}. \quad (7)$$

Данная модель допускает повторное рассмотрение  $k_{i_m}$  на  $k$ -м шаге при  $k > m$  и  $i_k \neq i_{k-1}$ , но ограничивается рамками классического марковского процесса, не учитывая влияние ранее изученных характеристик на вероятности перехода в  $T$  и  $F$ . Указанный недостаток устранен в модели методичного оценивания.

*Модель методичного оценивания объекта* предполагает, что оценивание экспертом объекта  $O$  начинается с наиболее значимой характеристики  $k_{i_1}$  ( $w_{i_1} = \max_{j \in \tilde{M}}(w_j)$ ) и происходит в порядке убывания  $\{w_i\}$  у  $\{k_i\}$ . Элементы  $v$ :

$$v_i = \begin{cases} 1, & w_i = \max_j(w_j) \\ 0, & w_i \neq \max_j(w_j), \quad (i, j \in \tilde{M}). \end{cases} \quad (8)$$

Вероятности переходов  $S_{i_m} \rightarrow T$ ,  $S_{i_m} \rightarrow F$  и  $S_{i_m} \rightarrow S_{i_{m+1}}$ :

$$p_{i_m}^T = \sum_{j=1}^m w_{i_j} \cdot z_{i_j}; \quad (9)$$

$$p_{i_m}^F = \sum_{j=1}^m w_{i_j} \cdot (1 - z_{i_j}); \quad (10)$$

$$p_{i_m}^{i_{m+1}} = 1 - \sum_{j=1}^m w_{i_j}. \quad (11)$$

Предложенный подход развит для процесса сравнения объектов экспертом.

В математической модели процесса сравнения сопоставляемые объекты  $\{O_j\}$  ( $j \in \tilde{L}$ ,  $\tilde{L} = \{1, 2, \dots, L\}$ ) определяются характеристиками  $\{k_i\}$  ( $i \in \tilde{M}$ ) с реализованностью  $\{z_{i_j} \in [0, 1]\}$ . Каждому эксперту ставятся в соответствие оценки значимости  $\{w_i \in [0, 1]\}$  ( $i \in \tilde{M}$ ), определяемые им для  $\{k_i\}$ . В процессе сравнения на  $m$ -м

шаге происходит переход из состояния  $S_{i_m}$  определения относительных реализованностей  $\{c_{i_m j}\}$  для  $k_{i_m}$  объектов  $\{O_j\}$  в состояние  $S_{i_{m+1}}$  ( $i_m \neq i_{m+1}$ ). Оценка  $c_{i_m k}$  для  $k_{i_m}$  в  $O_k \in \{O_j\}$  определяется по формуле нормирования:

$$c_{i_m k} = \frac{z_{i_m k}}{\sum_{j=1}^L z_{i_m j}}. \quad (12)$$

Исследуемый процесс заканчивается переходом в поглощающее состояние  $T_k \in \{T_j\}$  (эксперт предпочел  $O_k$  остальным объектам  $\{O_j\}$ ). В различных моделях процесса сравнения  $i_m$  и  $i_{m+1}$  детерминированы или имеют случайный характер. Таким образом, последовательное сравнение экспертом  $\{O_j\}$  по  $\{k_i\}$  представляет собой марковский процесс с поглощением, в котором переходы осуществляются между элементами пространства состояний  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_M, T_1, T_2, \dots, T_L\}$ .

Начальный вектор вероятностей  $v$  для  $\{S_i\}$  задается выражением (1).

Вероятность перехода  $S_{i_m} \rightarrow T_k$ :

$$p_{i_m}^{T_k} = \ddot{f}(w_{i_1}, \dots, w_{i_m}, c_{i_1 k}, \dots, c_{i_m k}). \quad (13)$$

Вероятность перехода  $S_{i_m} \rightarrow S_{i_{m+1}}$  оценивается формулой (4).

Аналогично оценкам  $p_T$  и  $p_F$  можно получить вектор  $p$ ,  $k$ -й ( $k \in \tilde{L}$ ) элемент которого содержит вероятность  $p_{T_k}$ , что эксперт предпочтет  $O_k$  остальным  $\{O_j\}$ .

Модели, разработанные в рамках подхода к моделированию процесса оценивания объекта, были адаптированы для процесса сравнения объектов.

В модели беглого сравнения формулы (5) и (6) заменяются выражением:

$$p_{i_m}^{T_k} = w_{i_m} \cdot c_{i_m k}. \quad (14)$$

В модели методичного сравнения данная функция имеет вид:

$$p_{i_m}^{T_k} = \sum_{j=1}^m w_{i_j} \cdot c_{i_j k}. \quad (15)$$

Предложенный подход развит для процесса выбора объекта, при котором эксперт имеет возможность отказаться от всех объектов  $\{O_j\}$ .

В математической модели процесса выбора из  $\{O_j\}$  ( $j \in \tilde{L}$ ) множество  $S$  будет иметь  $2L$  поглощающих состояния:  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_M, T_1, F_1, T_2, F_2, \dots, T_L, F_L\}$ . Состояние  $T_k \in \{T_j\}$  соответствует вынесению экспертом положительного, а  $F_k \in \{F_j\}$  – отрицательного заключения о предпочтительном объекте  $O_k \in \{O_j\}$ .

Для  $\{S_i\}$  начальный вектор вероятностей  $v$  определяется функцией (1).

Вероятности переходов  $S_{i_m} \rightarrow T_k$  и  $S_{i_m} \rightarrow F_k$ :

$$p_{i_m}^{T_k} = \ddot{f}(w_{i_1}, \dots, w_{i_m}, z_{i_1 k}, \dots, z_{i_m k}, c_{i_1 k}, \dots, c_{i_m k}). \quad (16)$$

$$p_{i_m}^{F_k} = \ddot{g}(w_{i_1}, \dots, w_{i_m}, z_{i_1 k}, \dots, z_{i_m k}, c_{i_1 k}, \dots, c_{i_m k}). \quad (17)$$

Вероятность перехода  $S_{i_m} \rightarrow S_{i_{m+1}}$  оценивается по формуле (4).

Использование общих подходов теории марковских процессов обеспечивает получение  $2L$ -компонентного вектора  $p$ ,  $2k - 1$ -й и  $2k$ -й ( $k \in \tilde{L}$ ) элементы которого содержат вероятности  $p_{T_k}$  и  $p_{F_k}$  перехода процесса выбора в  $T_k \in \{T_j\}$  и  $F_k \in \{F_j\}$ . Сумма  $\{p_{F_j}\}$  определяет вероятность  $p_F$  отказа эксперта от выбора из  $\{O_j\}$ :

$$p_F = \sum_{j=1}^L p_{F_j} . \quad (18)$$

Модели, созданные в рамках подхода к моделированию процесса сравнения объектов, были адаптированы для процесса выбора объекта.

В модели *беглого выбора* формула (14) заменяется функциями для вероятностей  $p_{i_m}^{T_k}$  и  $p_{i_m}^{F_k}$  перехода процесса из  $S_{i_m}$  в  $T_k \in \{T_j\}$  и  $F_k \in \{F_j\}$ :

$$p_{i_m}^{T_k} = w_{i_m} \cdot c_{i_m k} \cdot z_{i_m k} . \quad (19)$$

$$p_{i_m}^{F_k} = w_{i_m} \cdot c_{i_m k} \cdot (1 - z_{i_m k}) . \quad (20)$$

В модели *методичного выбора* данные выражения имеют вид:

$$p_{i_m}^{T_k} = \sum_{j=1}^m w_{i_j} \cdot c_{i_j k} \cdot z_{i_j k} . \quad (21)$$

$$p_{i_m}^{F_k} = \sum_{j=1}^m w_{i_j} \cdot c_{i_j k} \cdot (1 - z_{i_j k}) . \quad (22)$$

Предложенные модели были развиты с учетом следующих требований:

- 1) рассмотрение  $\{k_i\}$  происходит в произвольном порядке, без повторов;
- 2) вынося заключение, эксперт учитывает все изученные характеристики.

Для множества подмножеств наборов  $A = \{A^l\}$  ( $l \in \tilde{M}$ ), где  $A^l = \{set_i^l\}$  ( $i = \overline{1, C_M^l}$ ), набор  $set_n^l = \{k_{ij}^{ln}\} \subset \{k_i\}$  ( $i \in \tilde{M}$ ,  $j = \overline{1, l}$ ) определяет последовательности характеристик  $\{seq_j^{ln}\}$  ( $j = \overline{1, l}$ ) длиной  $l$ , для которых вероятность  $p_T^{set_n^l}$  положительного заклю-



чения эксперта зависит от вероятности  $s^{set_n^l}$  рассмотрения характеристик  $set_n^l$  и суммы  $u_T^{set_n^l}$  их вероятностных вкладов:

$$p_T^{set_n^l} = s^{set_n^l} \cdot u_T^{set_n^l} = \prod_{j=1}^l w_{ij}^{ln} \cdot \sum_{j=1}^l w_{ij}^{ln} z_{ij}^{ln} . \quad (23)$$

Вероятностный вклад  $A^l$ :

$$p_T^l = l! \cdot \sum_{i=1}^{C_M^l} p_T^{set_i^l} . \quad (24)$$

Полная вероятность положительного заключения эксперта об  $O$ :

$$p_T = \sum_{l=1}^M p_T^l . \quad (25)$$

Вероятность отрицательного заключения эксперта об  $O$ :

$$p_F^{set_n^l} = \prod_{j=1}^l w_{ij}^{ln} \cdot \sum_{j=1}^l w_{ij}^{ln} (1 - z_{ij}^{ln}) ; \quad (26)$$

$$p_F = \sum_{l=1}^M l! \cdot \sum_{i=1}^{C_M^l} p_F^{set_i^l} = 1 - p_T . \quad (27)$$

Для процесса сравнения  $\{O_j\}$  ( $j \in \tilde{L}$ ) вероятность перехода в  $T_k \in \{T_j\}$ :

$$p_{T_k}^{set_n^l} = \prod_{j=1}^l w_{ij}^{ln} \cdot \sum_{j=1}^l w_{ij}^{ln} c_{ijk}^{ln} ; \quad (28)$$

$$p_{T_k} = \sum_{l=1}^M l! \cdot \sum_{i=1}^{C_M^l} p_{T_k}^{set_i^l} . \quad (29)$$

Для процесса выбора объекта из  $\{O_j\}$  формула (28) имеет вид:

$$p_{T_k}^{set_n^l} = \prod_{j=1}^l w_{ij}^{ln} \cdot \sum_{j=1}^l w_{ij}^{ln} c_{ijk}^{ln} z_{ijk}^{ln} . \quad (30)$$

Вероятность перехода процесса выбора в  $F_k \in \{F_j\}$  ( $j \in \tilde{L}$ ):

$$p_{F_k}^{sel^n} = \prod_{j=1}^l w_{ij}^{ln} \cdot \sum_{j=1}^l w_{ij}^{ln} c_{ijk}^{ln} (1 - z_{ijk}^{ln}); \quad (31)$$

$$p_{F_k} = \sum_{l=1}^M l! \cdot \sum_{i=1}^{C_M^l} p_{F_k}^{sel_i^l}. \quad (32)$$

В таблице 1 приведена сводная информация по разработанным моделям.

Таблица 1

		Вероятность	М О Д Е Л Ь			
			Беглое	Методичное	Бессистемное	
		$p_{im}^{i_{m+1}}$	$w_{im+1}$	$1 - \sum_{j=1}^m w_{ij}$	$w_{im+1}$	
П Р О Ц Е С С	Оценивание	$p_{im}^T$	$w_{im} \cdot z_{im}$	$\sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot z_{ij}$	$\sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot z_{ij}$	
		$p_{im}^F$	$w_{im} \cdot (1 - z_{im})$	$\sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot (1 - z_{ij})$	$\sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot (1 - z_{ij})$	
	Сравнение	$p_{im}^{Tk}$	$w_{im} \cdot c_{im}$	$\sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot c_{ij}$	$\sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot c_{ij}$	
		Выбор	$p_{im}^{Tk}$	$w_{im} \cdot c_{im} \cdot z_{im}$	$\sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot c_{ij} \cdot z_{ij}$	$\sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot c_{ij} \cdot z_{ij}$
			$p_{im}^{Fk}$	$w_{im} \cdot c_{im} \cdot (1 - z_{im})$	$\sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot c_{ij} \cdot (1 - z_{ij})$	$\sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot c_{ij} \cdot (1 - z_{ij})$

Таблица 2 содержит общую характеристику созданных моделей.

Таблица 2

Модель оценивания / сравнения / выбора объектов	Порядок рассмотрения характеристик	Возможность повторного рассмотрения характеристики	Учет вклада ранее рассмотренных характеристик
Беглое	Произвольный	+	-
Методичное	По убыванию значимостей	-	+
Бессистемное	Произвольный	-	+

Предложенные модели могут быть использованы для исследования отношения экспертов к объектам, обладающим заданным набором параметров. В результате появляется возможность строить прогнозы предпочтений определенных групп экспертов относительно объектов с произвольно заданными характеристиками. Прогнозирование осуществляется путем многократной имитационной прогонки на предложенных математических моделях. Результаты вычислительного эксперимента позволяют получить представление о распределении предпочтений экспертов.

**В третьей главе** рассмотрена программная реализация моделей и методов в виде программного комплекса, представляющего собой маркетинговую экспертную систему, включающую компонент имитационного моделирования. Основным назначением системы является моделирование процессов экспертного оценивания/сравнения/выбора объектов, обладающих определенным набором характеристик.

Основные особенности системы: интегративный характер; прямое использование моделей; имитационное моделирование процессов оценивания/сравнения/выбора объекта экспертом.

Разработанная система позволяет: а) моделировать процессы оценивания, сравнения и выбора объектов экспертом на основе оценок значимости и степени реализованности их характеристик; б) осуществлять вычислительный эксперимент по имитационному моделированию указанных процессов для заданного числа экспертов; в) представлять результаты вычислительного эксперимента в численном и графическом виде. Функционал системы позволяет: загружать из файла параметры объектов и экспертов; указывать количество характеристик объектов; указывать количество исследуемых объектов; указывать количество выбираемых экспертом объектов; задавать значения параметров объектов и экспертов; варьировать количество экспертов, имитируемых системой; выбирать тип моделируемого процесса; выбирать модель для исследования процесса; выводить оценки параметров моделируемого процесса; представлять графически результаты вычислительного эксперимента; сохранять в файл результаты исследования.

В главе представлена функциональная структура разработанной системы, приведен перечень используемых модулей, описаны процедуры и функции, входящие в состав каждого из модулей. Описан ин-

терфейс приложения, разъяснено назначение основных его компонентов. Рассмотрены особенности работы системы и ограничения программной реализации предложенных подходов, выявленные в ходе тестирования приложения. Приведена информация об апробации программного комплекса и направлениях его дальнейшего развития.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

- Предложены и обоснованы подходы к математическому моделированию процессов оценивания, сравнения и выбора объектов экспертом, базирующиеся на учете стохастического характера данных процессов, что определяет адекватность этих подходов.
- На основе предложенных подходов разработаны математические модели исследуемых процессов: модель беглого, модель методичного и модель бессистемного оценивания/сравнения/выбора объекта экспертом, отражающие различные принципы формирования экспертной оценки.
- Создана имитационная модель процессов оценивания, сравнения и выбора объекта экспертом, позволяющая на основе информации о характеристиках объектов и предпочтениях экспертов получать оценки параметров исследуемого процесса.
- Реализован программный комплекс, обеспечивающий проведение вычислительного эксперимента на основе разработанных математических моделей, результаты которого представляются в виде таблиц и диаграмм различного типа.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в изданиях из перечня ВАК**

1. Пушкарев А. Н. Математическое обеспечение динамической интегрированной экспертной системы поддержки принятия решений в маркетинге / А. Н. Пушкарев, И. Г. Захарова // Вестник Тюменского государственного университета. – 2012. – № 4. – С. 151-155.
2. Пушкарев А. Н. Разработка подхода к математическому моделированию процесса выбора объекта экспертом / А. Н. Пушкарев // В мире научных открытий. – 2013. – № 12. – С. 171-180.
3. Пушкарев А. Н. Технологии Smart-образования в модернизации дополнительного образования детей и молодежи по научно-техническому профилю / А. Н. Пушкарев, И. Г. Захарова // Вестник Тюменского государственного университета. – 2013. – № 9. – С. 123-131.

## Статьи в других изданиях

4. Пушкарев А. Н. Реализация методов маркетингового анализа предпочтений клиентов / А. Н. Пушкарев, О. А. Чуклеева // Математическое и информационное моделирование: сб. науч. тр. – Тюмень: Вектор Бук, 2009. – Вып. 11. – С. 118-124.

5. Пушкарев А. Н. Математические методы маркетингового анализа предпочтений клиентов / А. Н. Пушкарев // Современные проблемы математического и информационного моделирования. Перспективы разработки и внедрения инновационных IT-решений: сб. тр. третьей регион. науч.-практ. конф., 14-15 апр. 2010 г. – Тюмень: Вектор Бук, 2010. – С. 194-199.

6. Пушкарев А. Н. Использование метода «SERVQUAL» в маркетинговом анализе / А. Н. Пушкарев // Математическое и информационное моделирование: сб. науч. тр. – Тюмень: Вектор Бук, 2010. – Вып. 12. – С. 163-166.

7. Пушкарев А. Н. Использование математических моделей и методов маркетинга для определения оптимального набора параметров будущего продукта / А. Н. Пушкарев // Информационные системы и модели в научных исследованиях, промышленности, образовании и экологии: доклады седьмой всеросс. науч.-технич. конф., 27 сент. 2010 г. – Тула: Инновационные технологии, 2010. – С. 30-35.

8. Пушкарев А. Н. Мотивационная цепь и ее роль в теории маркетинга / А. Н. Пушкарев // Актуальные проблемы развития современного общества: материалы междунар. науч.-практ. конф., 10 дек. 2010 г. – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2011. – С. 285-288.

9. Пушкарев А. Н. Методы оценивания соответствия продукта нуждам потребителей / А. Н. Пушкарев // Современные проблемы математического и информационного моделирования. Перспективы разработки и внедрения инновационных IT-решений: сб. тр. четвертой регион. науч.-практ. конф., 13-15 апр. 2011 г. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2011. – С. 183-188.

10. Пушкарев А. Н. Математическое моделирование экспертного оценивания объектов в маркетинге / А. Н. Пушкарев // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы всеросс. науч.-практ. конф., 14-19 мая 2012 г. – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2012. – Т. 1. – С. 215-218.

11. Пушкарев А. Н. Разработка системы поддержки принятия решений в маркетинге / А. Н. Пушкарев // Современные проблемы математического и информационного моделирования. Перспективы разработки и внедрения инновационных IT-решений: сб. тр. пятой межрегион. науч.-практ. конф., 13-15 апр. 2012 г. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2012. – С. 138-142.

12. Пушкарев А. Н. Математическое моделирование процессов экспертного сравнения однотипных объектов / А. Н. Пушкарев // Новые ин-

формационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании: материалы V Всеросс. науч.-технич. конф. с междунар. участием, 1-2 нояб. 2012 г. – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2012. – С. 142-145.

13. Моделирование и маркетинговая оценка электронных учебных курсов / А. Н. Пушкарев, И. Г. Захарова, М. С. Воробьева и др. // Информатизация образования: история, состояние, перспективы: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф., 20-21 нояб. 2012 г. – Омск: Изд-во ОмГПУ, 2012. – С. 230-233.

14. Пушкарев А. Н. Математическое моделирование процесса оценивания объекта экспертом / А. Н. Пушкарев // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: материалы XIII междунар. науч.-практ. конф., 12 марта 2013 г. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2013. – С. 72-74.

15. Пушкарев А. Н. Математическое обеспечение интегрированной экспертной системы в маркетинге / А. Н. Пушкарев // Математическое и информационное моделирование: сб. науч. тр. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2013. – Вып. 13. – С. 229-240.

#### **Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ**

16. Пушкарев А. Н. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013614467 «Разработка имитационного модуля маркетинговой экспертной системы» от 13.05.2013.

17. Пушкарев А. Н. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013618322 «Маркетинговая экспертная система» от 06.09.2013.

Подписано в печать 14.11.2013. Тираж 100 экз.  
Объем 1,0 уч.-изд. л. Формат 60×84/16. Заказ 840.

---

Издательство Тюменского государственного университета  
625003, г. Тюмень, ул. Семакова, 10.  
Тел./факс (3452) 45-56-60; 46-27-32  
E-mail: izdatelstvo@utmn.ru