

*На правах рукописи*

**КАРЯКИН Юрий Евгеньевич**

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ  
СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННОГО ПОДХОДА**

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

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

**Тюмень – 2010**

Работа выполнена на кафедре информационных систем Института математики и компьютерных наук ГОУ ВПО Тюменский государственный университет.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**ГЛУХИХ Игорь Николаевич**

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор  
**АКСЕНОВ Борис Гаврилович**

кандидат технических наук  
**ХАРТЬЯН Денис Юрьевич**

Ведущая организация: ГОУ ВПО Сургутский государственный университет  
ХМАО-Югра, г.Сургут

Защита диссертации состоится «\_21\_»\_декабря\_2010 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.274.14 при Тюменском государственном университете по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Перекопская, 15А, ауд. 410.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тюменского государственного университета.

Автореферат разослан «19» ноября 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Н.Н. Бутакова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В настоящее время развиваются и внедряются в практику управления сложными системами информационные технологии, инженерия знаний, методы поиска и принятия решений, методы моделирования и др. В результате создаются предпосылки для построения высокоэффективных систем обработки и использования знаний при решении широкого круга прикладных задач.

Особую актуальность приобретают системы, предназначенные для поддержки принятия решений, и их внедрение в контур управления потенциально опасными производственными объектами. Это подтверждается, в частности, масштабностью и тяжестью последствий техногенных аварий и катастроф последних десятилетий. Статистические данные свидетельствуют о том, что более 70% аварий и чрезвычайных ситуаций происходит по вине человека, в результате принятия несвоевременных, неверных или неэффективных решений.

В современных условиях организационно-технические и социально-экономические системы функционируют в динамически изменяющейся среде, что сопровождается изменением условий, ограничений, а иногда и целей управления объектами и процессами. Это приводит к тому, что разработка или совершенствование адекватных и полных моделей отстает от реалий и потребностей управления. При этом построение точных математических моделей сложных объектов, пригодных для реализации и эксплуатации на современных компьютерах либо затруднительно, либо принципиально невозможно. Это обуславливает необходимость отказываться от апробированных схем реализации управления, переходить к применению эвристических процедур, абстрагируясь от некоторых параметров объекта в целях получения модели более простой и удобной для реализации и использования.

Возникает необходимость в разработке методов и инструментальных средств автоматизации формирования альтернативных управленческих решений, основанных на объединении парадигм дискретного управления и ситуационного моделирования. В свою очередь, это требует нетрадиционного применения математического аппарата для построения модели объекта.

Актуальность развития методических и инструментальных средств для систем поддержки принятия решений (СППР) подтверждается еще и тем, что стоимость и ответственность управленческих решений постоянно возрастает, а время на их информационную и аналитическую поддержку уменьшается.

Всё вышперечисленное позволяет сделать вывод о том, что научные разработки, направленные на совершенствование СППР и ускорение внедрения их в контуры управления различных систем, актуальны.

**Целью работы** является повышение эффективности управления сложными организационно-техническими и социально-экономическими системами на основе ситуационных моделей.

Для достижения этой цели определены следующие **задачи**:

- обоснование актуальности поставленных задач посредством анализа современного состояния систем поддержки принятия решений и анализ подходов и методов математического моделирования, применяемых в управлении сложными системами;
- создание модели знаний о ситуациях и решениях на основе их формализованного представления;
- разработка и исследование алгоритмов классификации и распознавания ситуаций;
- разработка и исследование алгоритмов формирования новых возможных ситуаций и управляющих воздействий в них;
- исследование работоспособности разработанных моделей и алгоритмов посредством их программной реализации.

**Объектом исследования** являются методы и технологии, используемые в системах поддержки принятия решений, функционирующих в изменяющейся информационной среде.

**Предметом исследования** являются модели и алгоритмы, повышающие эффективность систем поддержки принятия управленческих решений при реализации ситуационного управления сложными объектами или системами.

**Методы исследования** - теория ситуационного управления, корреляционный и регрессионный анализ, векторная алгебра, многомерный статистический анализ, теория принятия решений, теория эволюционных алгоритмов.

### **На защиту выносятся:**

- модель знаний о ситуациях и решениях на основе матричных представлений и преобразований их атрибутов (параметров), позволяющая конструировать решения и формировать возможные ситуации для пополнения базы знаний или для обучения лиц, принимающих решение (ЛПР);
- алгоритм многомерной классификации ситуаций, характеризующих предметную область, отличающийся возможностью различать ситуации, относящиеся к различным качественным классам;
- метод моделирования принятия решений на основе формализованного многопараметрического представления ситуаций и векторного представления их решений;
- структура компьютерной системы поддержки принятия решения при управлении организационно-техническими и социально-экономическими системами.

**Научная новизна и теоретическая значимость** заключается в следующем:

- создана модель представления и обработки знаний в системах поддержки принятия решений на основе ситуационного подхода, отличающаяся возможностью автоматизированного конструирования решений ситуаций, отсутствующих в базе знаний, а также формирования возможных ситуаций для пополнения ситуационной базы знаний или обучения ЛПР;
- разработан алгоритм многомерной классификации с учетом наличия проблемных ситуаций, предполагающий формирование кластеров различных классов ситуаций;
- разработан алгоритм генерации возможных ситуаций для пополнения ситуационной базы знаний в рамках корреляционной теории, использующий метод линейного регрессионного анализа;
- разработан алгоритм формирования управляющих воздействий с применением генетического алгоритма, позволяющий реализовать многовариантность решений;
- предложена структура компьютерной системы поддержки принятия решений на основе разработанных моделей и алгоритмов.

**Практическая значимость работы.** Предложенные математические методы и модели доведены до уровня алгоритмического и программного обеспечения, позволяющего оценить их применимость в конкретных сферах деятельности. Научные результаты, полученные в работе, представляют интерес при построении систем поддержки принятия решений для осуществления ситуационного управления сложными организационно-техническими и социально-экономическими системами.

Разработанные методы, модели и алгоритмы могут составить основу для программной реализации и внедрения компьютерных систем проблемного обучения в процессе подготовки специалистов по принятию ими управляющих решений.

**Реализация и внедрение результатов работы.** Результаты исследований использовались при выполнении госбюджетной НИР «Интеллектуальные системы обучения решению профессионально-ориентированных проблемных задач (в области управления организационно-техническими объектами)» (№ госрегистрации НИР 01.20.02 14952), включены в курсы «Компьютерное моделирование», «Информационные системы» подготовки студентов специальностей «Прикладная информатика в экономике», «Прикладная информатика в географии», «Компьютерная безопасность» в Тюменском государственном университете.

**Апробация работы.** Основные результаты докладывались на VI международной научно-технической конференции (Пенза, 2007), III межрегиональной научно-практической конференции «Информационные технологии и телекоммуникации в экономике, управлении и социальной сфере» (Тюмень, 2008), межрегиональной научно-практической конференции «Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров» (Пенза, 2002), III научно-практической региональной конференции «Современные проблемы математического и информационного моделирования. Перспективы разработки и внедрения инновационных IT-решений» (Тюмень, 2010), межвузовской научно-методической конференции «Межсессионный контроль и качество обучения» (Тюмень, 2001), областной научно-методической конференции «Роль информационных технологий в обучении: проблемы, перспективы, решения» (Тюмень, 2003), на научно-методических семинарах Института математики и компью-

терных наук и кафедры информационных систем Тюменского государственного университета (2002-2010 г.г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 17 работ, в числе которых 3 авторских свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1 статья в издании из списка ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 132 страницы. Библиографический список включает 147 наименований работ российских и зарубежных авторов.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В **первой главе** рассматриваются современное состояние систем поддержки принятия решений, приводится анализ существующих подходов к их построению, рассматривается ситуационный подход к управлению, а также современные подходы математического моделирования подобных систем.

Проблемы поддержки принятия решений, аспекты инженерии знаний, проектирования информационных систем рассматривались в исследованиях С.В. Смирнова, Г.С. Поспелова, Д.А. Поспелова, Ю.И. Клыкова, В.И. Вагина, Э.В. Попова, Э.А. Трахтенгерца, Т.А. Гавриловой, Ю.В. Тельнова и др. отечественных ученых, а также в трудах зарубежных ученых Л. Заде, П. Джексона и др.

Методы анализа многомерных данных, применяемые для исследования структуры и взаимосвязей характеристик функционирования сложных систем, рассматриваются в трудах Б.Г. Миркина, С.А. Айвазяна, Б.П. Ивченко, А.И. Орлова, Т. Саати и др. Системный аспект при обработке информации, циркулирующей в сложных системах, рассматривается в трудах Н.П. Бусленко., Б.Г. Литвак. А.А. Денисова, В.Н. Волковой, Ф.Ф. Пашенко, Б.П. Бусыгина.

На основе проведенного анализа методов делается вывод о возможности

реализации в рамках ситуационного подхода современных методов обработки данных, обеспечивающих уменьшение работы эксперта в процессе настройки системы и принятия решения, а также создание механизма пополнения ситуационной базы знаний новыми возможными ситуациями и их решениями.

Во второй главе предлагается модель представления знаний о ситуациях и решениях на основе многопараметрического, матричного представления ситуаций, преобразование которого ведет к формированию решений. Эта модель учитывает корреляционные связи между значениями факторов (показателей), описывающих ситуации.

Понятие модели представления знаний о ситуациях и их решениях формулируется как кортеж:

$$M = \{ \langle S_i, U_i \rangle, I, C \}, i=1, \dots, N,$$

где  $S_i$  —  $i$ -ая ситуация-пример;  $U_i$  — решение  $i$ -ой ситуации-примера;  
 $I$  — информационная база правил выработки управляющих воздействий;  
 $C$  — критерии оценки ситуаций и решений.

Состояние объекта управления в ситуационных моделях описывается в терминах ситуаций. Под *ситуацией* понимается совокупность обстоятельств, возникающих как результат комбинации воздействия внешней и внутренней среды организационно-технической системы.

Формальный аппарат представления в СППР информации о ситуациях в сложных системах основан на использовании набора атрибутов (показателей)  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , которыми описывается любая ситуация в системе. Информация о ситуациях в сложной системе представляется в виде строк с фиксированным расположением каждого атрибута  $A_i$ :

$$Sit = \langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle.$$

При выборе атрибутов, характеризующих ситуации, необходимо четко представлять в какой шкале измеряются показатели. Тип шкалы важен для определения степени отличия (сходства) двух ситуаций. Вводится ограничение, касающееся того, что показатели, характеризующие ситуации, представляются в количественной шкале.

Формализованное представление множества всех ситуаций, характеризующих какую-либо предметную область, имеет следующий вид:

$$S = \{ S_i(x_{i1}, \dots, x_{in}) \}, i=1, \dots, N,$$

где  $S_i(x_{i1}, \dots, x_{in})$  –  $i$ -я ситуация;  $x_{ij}$  – оцифрованное значение  $j$ -го показателя для  $i$ -й ситуации ( $j=1, \dots, n$ );  $N$  – количество ситуаций;  $n$  – количество показателей.

Поведение сложной системы описывается движением представляющей ее точки в  $n$ -мерном пространстве.

Исходя из динамического характера сложных систем и необходимости своевременной реакции ЛПР на изменения ситуации, выделяются 3 основных класса ситуаций по скорости реакции на их возникновение:

1. Штатные (стандартные)  $K^+$ ;
2. Потенциально конфликтные  $K^\pm$ ;
3. Конфликтные (нестандартные)  $K^-$ .

$$\forall S_i : (S_i \in K^+ \vee S_i \in K^\pm \vee S_i \in K^-) \wedge (K^+ \cup K^\pm \cup K^- = S).$$

В работе сформулированы формальные признаки названных классов ситуаций и рассмотрена возможность последовательных переходов ситуации из класса в класс в результате управляющих воздействий ЛПР.

Описанные в количественной шкале показатели имеют, как правило, различную физическую природу и поэтому различную размерность, которая устраняется путем центрирования и нормирования:

$$t_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}, \quad (1)$$

где  $\bar{x}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij}$  – оценка математического ожидания  $j$ -ой компоненты;

$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}$  – оценка ее среднего квадратического отклонения.

В результате значения показателей приобретают безразмерный вид. В качестве метрики сходства (различия) ситуаций выбрана Евклидова метрика, так как она наилучшим образом обеспечивает нахождение степени сходства (различия) объектов, параметры которых задаются в непрерывной количественной шкале.

Для последующей структуризации показателей и учета их статистической взаимозависимости вводится матрица связи. Матрица связи – квадратная симметрическая матрица типа «показатель-показатель», где на пересечении  $i$ -ой строки  $j$ -ого столбца стоит мера «взаимосвязанности»  $i$ -го и  $j$ -го показателей.

В качестве такой меры используется коэффициент корреляции Пирсона  $r_{kj}$ , так как он не имеет размерности, следовательно, сопоставим для величин различных порядков.

$$r_{kj} = \frac{S_{kj}}{\sqrt{S_{kk}S_{jj}}}, \quad (2)$$

где  $s_{kj} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_k)(x_{ij} - \bar{x}_j)$ .

В результате матрицей связи становится корреляционная матрица  $R=(r_{ij})$ . Корреляционная матрица находится из соотношения

$$R = F_t^T F_t, \quad (3)$$

где  $F_t=(t_{ij})$  - информативная матрица, составленная из стандартизированных значений показателей (1).

Для формализации решений и выявления их свойств постулируются следующие утверждения.

*Утверждение 1.* Решением является последовательность пошаговых управляющих воздействий (один из основных постулатов ситуационного управления).

*Утверждение 2.* Элементарное управляющее воздействие – это изменение одного из управляющих параметров.

*Утверждение 3.* Изменение одного из параметров может повлечь за собой изменение других параметров, в том числе неуправляющих, т.е. имеет место взаимозависимость параметров, характеризующих ситуацию.

Элементарное управляющее воздействие определяется как отображение:

$$\psi(S_i, u_k): \mathfrak{R}^n \times \mathfrak{R}^n \rightarrow \mathfrak{R}^n,$$

где  $S_i$  – текущая ситуация;  $u_k(0, \dots, \Delta x_k, \dots, 0)$  – вектор воздействия.

Суперпозиция полученных пошаговых управляющих воздействий будет образовывать искомое решение, формализованная запись которого используется в моделях для нахождения новых решений:

$$u_{ynp} = u_1 \times \dots \times u_n, \quad \text{т.е.} \quad u_{ynp} = (\Delta x_1, \dots, \Delta x_n).$$

Для формализованного представления решений ситуаций определяется линейное преобразование, соответствующее элементарному воздействию, входящему в суперпозицию решений. При этом учитываются корреляционные за-

зависимости между показателями.

Линейная регрессионная модель оказывается предпочтительнее других, поскольку является наиболее простой и надежной, а также имеет меньший риск значительной ошибки прогноза, чем в других моделях.

В предположении линейного характера зависимости между показателями  $x_i$  и  $x_j$  имеем зависимость  $x_i = ax_j + b + \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  - случайная составляющая.

Получив оценки  $a$  и  $b$ , имеем уравнение регрессии:

$$\hat{x}_i = r_{ij} \frac{\sigma_i}{\sigma_j} x_j + \beta, \quad (4)$$

где  $r_{ij}$  – коэффициент корреляции;  $\sigma_i$ ,  $\sigma_j$  – оценки средних квадратических отклонений значений  $i$ -го и  $j$ -го показателя соответственно;  $\beta$  – оценка свободного коэффициента  $b$ .

При изменении значения объясняющего показателя имеем изменение объясняемого:

$$\hat{x}_i + \Delta x_i = r_{ij} \frac{\sigma_i}{\sigma_j} (x_j + \Delta x_j) + \beta \quad (5)$$

Из (4) и (5) получаем

$$\Delta x_i = r_{ij} \frac{\sigma_i}{\sigma_j} \Delta x_j \quad (6)$$

Пренебрежение случайной составляющей возможно тогда, когда в рассматриваемой системе математическое ожидание случайного возмущения равно 0. При этом дисперсия возмущений оценивается величиной

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2},$$

где  $e_i = \hat{y}_i - y_i$  - выборочная оценка возмущения;  $\hat{y}_i$  - групповая средняя.

Математическое ожидание квадрата отклонения наблюдаемых значений от сглаженных в линейной модели оказывается меньше, чем в других моделях.

Формула (6) характеризует изменение параметров исходной ситуации в результате изменения одного из параметров. Элементарное воздействие в матричном представлении будет иметь вид:

$$(x'_1, \dots, x'_j, \dots, x'_n)^T = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)^T + R'(0, \dots, \Delta x_j, \dots, 0)_{yпр}^T,$$

где  $R' = (r'_{ij})$ ,  $r'_{ij} = r_{ij} \frac{\sigma_i}{\sigma_j}$ .

Суперпозиция элементарных воздействий, характеризующая преобразование текущей ситуации, в матричном представлении запишется в виде:

$$\Delta x = R' \cdot u_{упр} \quad (7)$$

где  $\Delta x$  – вектор изменения значений исходной ситуации;  $R'$  – «скорректированная» корреляционная матрица;  $u_{упр}$  – вектор управляющих воздействий

Подобный подход к представлению решений обладает инвариантностью относительно перестановки элементарных управляющих воздействий, образующих решение. Данное свойство формулируется в виде доказанного в работе утверждения 4.

*Утверждение 4.* Результат суперпозиции элементарных управляющих воздействий не зависит от последовательности их реализации, т.е.

$$U_1 \circ U_2 \circ \dots \circ U_n = U_{p(1)} \circ U_{p(2)} \circ \dots \circ U_{p(n)}, \forall p$$

где  $U_i$  – элементарное управляющее воздействие по изменению  $i$ -го атрибута состояния системы;  $p$  – возможная перестановка.

В **третьей главе** предлагаются метод классификации ситуаций, основанный на кластерном анализе, алгоритмы моделирования новых ситуаций и управляющих воздействий в рамках корреляционной теории.

Использование ситуационного подхода в СППР требует применения многомерной классификации ситуаций, хранящихся в базе знаний, а также ситуаций, возникающих в процессе функционирования системы, для выявления схожих критических ситуаций.

Алгоритм кластеризации — это функция, которая каждой ситуации, содержащейся в ситуационной базе знаний, ставит в соответствие номер кластера. Кластер характеризуется центром и радиусом.

Под центром кластера понимается среднее геометрическое место точек в пространстве переменных:

$$v_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^{I_k} t_{ij}}{I_k}, \quad (8)$$

где  $t_{ij}$  – стандартизированное значение  $i$ -го показателя  $j$ -го объекта кластера;  $I_k$  – количество объектов в  $k$ -ом кластере.

Радиус кластера определяется как максимальное расстояние точек от центра кластера:

$$R_k = \max_j \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_{ij} - v_{ik})^2} \quad (9)$$

Все ситуации относятся к одному из трех введенных ранее классов. Критерий эффективности может принимать значение, принадлежащее к одному из трех различных множеств. Множество значений интегрального критерия делится на три непересекающихся интервала.

Разработанный алгоритм многомерной классификации, относящийся к неиерархическим алгоритмам кластерного анализа, представляет собой итерационный процесс дробления исходной совокупности. В процессе деления новые кластеры формируются до тех пор, пока не будет выполнено правило остановки.

Алгоритм кластеризации заключается в следующем.

1. Выбор начального распределения ситуаций по кластерам.

Начальное число кластеров  $k=3$ . Определенные ранее классы ситуаций будут являться начальными кластерами. В результате каждая ситуация назначена определенному кластеру.

$$\forall s_i : (s_i \in K^+ \vee s_i \in K^\pm \vee s_i \in K^-) \wedge (K^+ \cup K^\pm \cup K^- = S)$$

2. Формирование новых кластеров.

Для каждого кластера находятся компоненты центра и радиус по формулам (8) и (9). Создание нового кластера ( $k = k + 1$ ) производится, если имеет место пересечение кластеров, содержащих ситуации, относящиеся к разным классам, или имеются значительные расстояния между ситуациями.

$$\left( \exists i, j : K_i \cap K_j \neq \emptyset, i \neq j; \bigcup_{i=1}^k K_i = S \right) \vee (\exists K_i : R_i > Const)$$

Новый кластер будет относиться к тому классу ситуаций, который имел кластер максимального радиуса и/или включал в себя ситуации противоположного класса.

$$\begin{aligned} & \exists s_k : (s_k \in K^+ \wedge s_k \in K_i, \quad K_i \subseteq K^\pm \vee K_i \subseteq K^-) \wedge \\ & (s_k \in K^\pm \wedge s_k \in K_j, \quad K_j \subseteq K^+ \vee K_j \subseteq K^-) \wedge \\ & (s_k \in K^- \wedge s_k \in K_j, \quad K_j \subseteq K^+ \vee K_j \subseteq K^\pm) \end{aligned}$$

Перераспределение ситуаций производится из критерия близости к цен-

тру, который пересчитывается с каждым включением новой ситуации.

$$J = \sum_{k=1}^{I_k} \sum_{i=1}^l d(v_k, s_i) \rightarrow \min$$

### 3. Правило остановки.

Процесс формирования новых кластеров и перераспределения ситуаций продолжается до одновременного выполнения следующих условий:

- отсутствие пересечений кластеров, содержащих ситуации, относящихся к разным классам;
- отсутствие значительных расстояний между ситуациями, относящихся к одному кластеру (приемлемое значение радиуса кластера).

$$\left( K_i \cap K_j = 0, i \neq j, i, j = 1, \dots, k; \bigcup_{i=1}^k K_i = S \right) \wedge \left( \max_i R_i < Const \right)$$

В результате работы алгоритма формируются кластеры, которые имеют в своем составе ситуации, относящиеся только к одному определенному классу.

Для получения новых ситуаций с целью пополнения ситуационной базы знаний или подготовки к их решению лицом, принимающим решения, применяется известный метод линейного преобразования. Использование метода предполагает выполнение условия сохранения корреляционных соотношений получаемых ситуаций.

Метод состоит в том, чтобы, выработав  $n$  независимых случайных величин  $(y_1, \dots, y_n)$ , применить к ним линейное преобразование  $A$ :

$$x = A \cdot y, \text{ где } x = (x_1, \dots, x_n)^T, y = (y_1, \dots, y_n)^T.$$

Матрица  $A$  выбирается треугольной

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & 0 & \dots & 0 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (10)$$

Элементы матрицы находятся из условия:

$$M(x_i, x_j) = r_{ij}, \quad M(y_i, y_j) = \sigma_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$$

Для элементов корреляционной матрицы имеем:

$$\begin{cases} r_{11} = a_{11}^2 \\ r_{21} = a_{11} a_{21} \\ \dots \\ r_{nm} = a_{n1}^2 + a_{n2}^2 + \dots + a_{nm}^2 \end{cases} \quad (11)$$

Из (11) получаются коэффициенты матрицы  $A$ :

$$a_{ij} = \frac{r_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} a_{ik} a_{jk}}{\sqrt{r_{jj} - \sum_{k=1}^{j-1} a_{jk}^2}}, \quad 1 \leq j \leq i \leq n, \quad \sum_{k=1}^0 a_{ik} a_{jk} = 0, \quad \sum_{k=1}^0 a_{jk}^2 = 0 \quad (12)$$

Новая ситуация, требующая принятия решения, получается преобразованием случайного вектора, математические ожидания координат которого равны координатам центра соответствующего кластера:

$$M[y_i] = v_{ij} \quad \sigma^2[y_i] = 1, \quad y \in K_j, \quad K_j \subseteq K^- \vee K_j \subseteq K^+.$$

Дополнение и уточнение набора ситуаций, а также их решений, происходит на протяжении всего процесса применения ситуационного подхода, начиная от сбора и анализа информации и заканчивая этапом практического применения.

Для формирования управляющего воздействия с целью перехода от текущей ситуации  $x$  к требуемой ситуации  $x'$  используется формализованное матричное представление (7).

Приращение координат исходной ситуации представимо в виде

$$\Delta x = x' - x = Bx - x = (B - E)x, \quad (13)$$

где  $x$  ( $x_1, \dots, x_n$ ) - текущая ситуации;  $x'$  ( $x'_1, \dots, x'_n$ ) - требуемая ситуация;  $B$  - матрица линейного преобразования, переводящего вектор  $x$  в вектор  $x'$ .

Из (7) и (13) получается выражение для нахождения управляющего воздействия при известном преобразовании исходной ситуации

$$u_{уп} = (R')^{-1} \cdot (B - E)x \quad (14)$$

Алгоритм нахождения обратной матрицы  $(R')^{-1}$  реализуется численно.

Использование в (14) различных вариантов матрицы  $B$  позволяет получать множество альтернатив управляющих воздействий.

Для нахождения вариантов матрицы  $B$  используется генетический алгоритм. Рассматривается задача оптимизации

$$F(B) \rightarrow \min \quad (15)$$

где  $B$  – матрица линейного преобразования.

Функция  $F(B)$  является скалярной многопараметрической функцией, которая определяется как

$$F(B) = d(y, z) = \sqrt{(z_1 - x'_1)^2 + (z_2 - x'_2)^2 + \dots + (z_n - x'_n)^2} \quad (16)$$

где  $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ ,  $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$  – векторы, принадлежащие  $\mathfrak{R}^n$ .

Коэффициенты  $b_{11}, b_{12}, \dots, b_{21}, b_{22}, \dots, b_{n1}, \dots, b_{nn}$  матрицы  $B$  кодируются двоичными целочисленными строками, образуя хромосому (особь)  $h = (b_{11}, b_{12}, \dots, b_{nn})$ . Для двоичной кодировки используется рефлексивный код Грея, обладающий свойством непрерывности бинарной комбинации.

Используя целевую функцию  $F(B)$ , строится функция пригодности генетического алгоритма

$$m(h_i) = \frac{1}{1 + F(B_i)} \quad (17)$$

Генетический алгоритм можно представить следующей последовательностью:

```
// Создание исходной популяции мощности M
While (k < M)
{
    Генерация особи случайным образом;
}
// Основной цикл алгоритма
While (Критерий_останова <> TRUE)
{
    Оценка значения функции пригодности;
    // Оператор репродукции
    Отбор особей для процесса размножения;
    // Оператор кроссинговера
    Создание потомков выбранных пар родителей;
    // Оператор мутации
    Мутация новых особей;
    Расширение популяции новыми порожденными особями;
    // Оператор редукции
    Сокращение популяции до исходного размера;
}
Выбор лучшей особи в конечной популяции
```

*Репродукция.* Для каждой особи  $h_i$  вычисляется вероятность

$$P_s(i) = \frac{m(h_i)}{\sum m(h_i)}, \quad (18)$$

в соответствии с которой происходит пропорциональный отбор для производства потомства.

*Скрещивание.* Для каждой отобранной пары особей с вероятностью  $P_c$  ( $P_c \in [0,8; 0,95]$ ) применяется равномерное скрещивание. Случайным образом копируется каждый ген от одного или другого родителя.

*Мутация.* После оператора скрещивания, с хромосомами потомков выполняется оператор мутации - каждый бит с вероятностью  $P_m$  ( $P_m \in [0,01; 0,001]$ ) изменяется на противоположный.

При манипулировании имеющейся популяцией с помощью генетических операторов получают новые особи, т.е. новые линейные преобразования.

В результате работы предложенного алгоритма получают различные варианты линейного преобразования  $V$ , реализуя тем самым многовариантность решения.

В **четвертой главе** рассматривается структура системы поддержки принятия решений на основе разработанных методов и алгоритмов; уточняется специфика информационного окружения и инструментария; исследуются возможности, работоспособность и эффективность системы; приводятся результаты апробации.

Для реализации разработанных методов и алгоритмов на основе ситуационного подхода предложена модульная структура СППР, варианты управления системой и режимы ее работы, обсуждается взаимодействие различных алгоритмов между собой.

Программное обеспечение позволяет выполнять необходимые операции со знаниями, основными из которых являются:

- многомерная классификация с использованием разработанного алгоритма кластерного анализа;
- моделирование возможных ситуаций с использованием алгоритма, применяющего линейное преобразование, действующего в рамках корреляционной теории и на основе проведенной классификации. После моделирования

ЛПР оценивает полученные ситуации;

– формирование управляющих воздействий для разрешения кризисных ситуаций с применением разработанного алгоритма, использующего формализованное представление ситуаций и решений на основе регрессионного анализа. Многовариантность решений обеспечивается применением различных линейных преобразований, получаемых с помощью алгоритма, реализованного на базе генетического алгоритма.

Проверка работоспособности разработанного программного комплекса и адекватности моделей проводилась на известной макроэкономической модели, использующей следующие показатели: средняя продолжительность жизни (лет), численность населения (тыс. человек), доля городского населения (%), число медицинских работников на 10 тысяч населения (чел.), доля неграмотных (%), среднегодовой индекс роста производства продовольствия (%). В качестве интегрального критерия эффективности был взят результативный показатель, который представляет собой среднюю продолжительность жизни.

В результате работы программного модуля, реализующего классификацию ситуаций, выполняется распределение ситуаций по кластерам. Полученные кластеры обладают показателем качества, т.е. номером класса содержащихся в кластере ситуаций. Результаты работы модуля кластеризации сопоставлялись с результатами решения задачи кластеризации в пакете Statistica 9.1. При этом совпадение состава кластеров составило 83%.

При формировании управляющих воздействий пользователь задает ситуацию, требующую разрешения и относящуюся к определенному классу ситуаций. По координатам ближайшего кластера, содержащего ситуации более высокого качества, вводится конечная ситуация. В результате работы программного приложения формируются значения вектора управляющего воздействия. При этом возможно формирование нескольких управляющих воздействий, образуя множество альтернатив решения начальной ситуации.

В вычислительном эксперименте получено, что для разрешения критической ситуации, когда средняя продолжительность жизни составляет 42,2 года возможен выбор следующей предлагаемой системой альтернативы: увеличить долю городского населения на 8,4%, число медицинских работников (на 10 тысяч населения) должно быть увеличено на 10,7 человека, долю неграмотных

уменьшить на 10,2%, а среднегодовой индекс роста производства продовольствия увеличить на 7,2%.

Полученные в результате вычислительного эксперимента управляющие решения не противоречат решениям, принимаемым в данной ситуации для повышения эффективности функционирования объекта управления, и подтверждают работоспособность разработанных методов и алгоритмов.

В **заключении** приведены основные результаты диссертационной работы:

- исследовано применение методов ситуационного управления, современных методов обработки данных и сделан вывод о применимости и перспективности этого направления. Показано, что перспективность направления внедрения новых методов связаны с уменьшением работы эксперта в процессе принятия решения и настройки системы на конкретный объект управления;

- построенная модель многофакторного представления ситуаций, характеризующих предметную область, а также решений проблемных ситуаций, показала свою эффективность в смысле применения различных методов проведения классификации, формирования возможных ситуаций и генерации решений проблемных ситуаций;

- разработанные алгоритмы: классификации с учетом наличия различных классов проблемных ситуаций, применения регрессии в генерировании возможных ситуаций для пополнения базы знаний, формирования решения проблемных ситуаций на основе эволюционных алгоритмов, - применимы в практических задачах построения СППР;

- предложенная структура системы поддержки принятия решения на базе разработанных методов и алгоритмов дает возможность строить СППР для различных предметных областей;

- программная реализация разработанных методов и алгоритмов и вычислительные эксперименты показали работоспособность и эффективность в смысле уменьшения затрат времени на настройку системы, прогнозирования возможных проблемных ситуаций и своевременного принятия решений в управлении организационно-техническими и социально экономическими системами.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Карякин Ю.Е. Некоторые аспекты построения системы обучения принятию управленческих решений //Вестник ТюмГУ, 2008. № 6. С.176-182.
2. Карякин Ю.Е., Карякин И.Ю. Модификация метода кластерного анализа применительно к ситуационному подходу в интеллектуальных обучающих системах //Сборник статей VI международной научно-технической конференции. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – С.94-96.
3. Глухих И.Н., Карякин Ю.Е. Моделирование проблемных ситуаций и их решений в интеллектуальных системах обучения //Системный анализ, моделирование и обработка информации: Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 1. – Сургут: РИО СурГПИ, 2002, С.19-21.
4. Глухих И.Н., Карякин Ю.Е. Моделирование ситуаций в интеллектуальных системах проблемного обучения на основе преобразования примеров //Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров. – Пенза: ПГУ, 2002, С.120-121.
5. Глухих И.Н., Карякин Ю.Е. Модель системы поддержки принятия управленческих решений на основе анализа ситуаций //Математическое и информационное моделирование. Сб. научн. трудов. Вып.4. – Тюмень: ТюмГУ, 2002. – С.85-89.
6. Карякин Ю.Е. Дополнение данных для нахождения преобразования ситуаций и решений в интеллектуальных обучающих системах //Информационное и компьютерное моделирование: сборник научных трудов. Вып. 5. Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2003, С.76-79.
7. Карякин Ю.Е., Громов Д.Н., Сыроева Е.Б. Прототип интеллектуальной обучающей системы //Информационное и компьютерное моделирование: сборник научных трудов. Вып. 5. Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2003, С.79-87.
8. Карякин Ю.Е., Карякина С.В. Использование методов регрессионного анализа в интеллектуальных обучающих системах //Информационное и компьютерное моделирование: сборник научных трудов. Вып. 6. Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2004, С.217-227.

9. Карякин Ю.Е., Карякин И.Ю. Использование средств Data Mining и методов кластерного анализа в интеллектуальных обучающих системах //Информационное и компьютерное моделирование: сборник научных трудов. Вып. 9. Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2007. С.93-102.
10. Карякин Ю.Е., Круглик Ю.А. Нахождение линейного преобразования с использованием генетического алгоритма //Современные проблемы математического и информационного моделирования. Перспективы разработки и внедрения инновационных IT-решений. Третья научно-практическая региональная конференция (Тюмень, ТюмГУ, Институт математики и компьютерных наук, 14-15 апреля 2010 года). Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2010. – С.117-124.
11. Карякин Ю.Е., Круглик Ю.А. Моделирование ситуаций и управляющих воздействий в рамках корреляционной теории // Современные проблемы математического и информационного моделирования. Перспективы разработки и внедрения инновационных IT-решений. Третья научно-практическая региональная конференция (Тюмень, ТюмГУ, Институт математики и компьютерных наук, 14-15 апреля 2010 года). Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2010. – С.125-132.
12. Карякин Ю.Е. Автоматизация обучения и контроля //Межсессионный контроль и качество обучения. Материалы межвузовской научно-методической конференции. Тюмень: «Вектор Бук», 2001, С.22-23.
13. Глухих И.Н., Карякин Ю.Е. Информационные технологии и методы инженерии знаний как средство активизации учебной деятельности при подготовке специалистов //Роль информационных технологий в обучении: проблемы, перспективы, решения: Материалы областной научно-методической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003, С.19-21.
14. Глухих И.Н., Карякин Ю.Е., Громов Д.Н., Сысоева Е.Б. Интеллектуальные системы обучения решению профессионально-ориентированных проблемных задач (в области управления организационно-техническими объектами) //Заключительный отчет по НИР/ Рук. И.Н.Глухих. - М.: ВНИИЦ, ИК №02.20.03 03364

*Авторские свидетельства:*

15. Карякин Ю.Е., Круглик Ю.А. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2009616428 «Кластерный анализ ситуаций, относящихся к двум различным категориям» от 20.11.2009.
16. Карякин Ю.Е., Круглик Ю.А. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2009616420 «Нахождение линейного преобразования с использованием генетического алгоритма» от 20.11.2009
17. Карякин Ю.Е., Круглик Ю.А. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010615993 «Моделирование случайных векторов в рамках корреляционной теории» от 13.09.2010.