

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## **УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Курс лекций

### **Методические рекомендации для обучающихся**

Направление 09.06.01 Информатика и вычислительная техника  
Направленность - Управление в социальных и экономических системах

**Краснодар  
КубГАУ  
2015**

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Лекция-1. ПРЕДМЕТ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ .....	5
2. Лекция-2. СОСТАВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ЦИКЛ УПРАВЛЕНИЯ, ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ .....	8
3 Лекция-3. ПОНЯТИЕ СИСТЕМЫ И УРОВНЯ СИСТЕМНОСТИ. ИНФОРМАЦИОННЫЕ МЕРЫ УРОВНЯ СИСТЕМНОСТИ. ЦЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ. СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ .....	13
4 Лекция-4. ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ, МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ, НЕЛИНЕЙНЫМИ, АКТИВНЫМИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ. ТРЕБОВАНИЯ К ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ МОДЕЛЯМ И ПРОГРАММНОМУ ИНСТРУМЕНТАРИУ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНО ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ, ИНФОРМАЦИЯ О КОТОРЫХ НЕПОЛНА (ФРАГМЕНТИРОВАНА) И ЗАШУМЛЕНА. ПРИНЦИП ЭШБИ .....	191
5 Лекция-5 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИСТЕМНО-КОГНИТИВНОГО АНАЛИЗА (АСК-АНАЛИЗ).....	213
6. Лекция-6 СПЕЦИАЛЬНОЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, РЕАЛИЗУЮЩЕЕ МАТЕМАТИЧЕСКУЮ МОДЕЛЬ И ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД АСК-АНАЛИЗА – УНИВЕРСАЛЬНАЯ КОГНИТИВНАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА "ЭЙДОС".....	379
7 Лекция-7. ДАННЫЕ, ИНФОРМАЦИЯ, ЗНАНИЯ В СООТВЕТСТВИИ С КОНЦЕПЦИЕЙ СМЫСЛА «ШЕНКА-АБЕЛЬСОНА». ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИЮ, А ЕЕ В ЗНАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗНАНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ. ....	428
8 Лекция-8. ПРИМЕНЕНИЕ АСК-АНАЛИЗА И СИСТЕМЫ «ЭЙДОС» ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СИНТЕЗА И ЭКСПЛУАТАЦИИ В АДАПТИВНОМ РЕЖИМЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ .....	432
9 Лекция-9. УПРАВЛЕНИЕ ТРУДОВЫМИ РЕСУРСАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМНО-КОГНИТИВНОГО И ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА .....	477
10 Лекция-10. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЖИЗНИ -НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНА .....	499
11 Лекция-11. ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННЫМ МЕЖОТРАСЛЕВЫМ АГРОПРОМЫШЛЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ В ПЕРИОД УБОРКИ И ЗАГОТОВКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ .....	545
12 Лекция-12. ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ СИСТЕМНОСТИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ КАК ИСТОЧНИК ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.....	549

В данном разделе кратко приведено содержание 6 лекций, предусмотренных по данной дисциплине:

***Раздел 1. Общие вопросы теории управления социально-экономическими системами***

**Лекция-1.** Предмет теории управления. Классификация систем управления.

**Лекция-2.** Состав системы управления, цикл управления, функции управления

**Лекция-3.** Понятие системы и уровня системности. Информационные меры уровня системности. Цель управления системами. Социально-экономические системы. Системный подход к управлению социально-экономическими системами

***Раздел 2. Автоматизированный системно-когнитивный анализ и интеллектуальная система «Эйдос» в управлении социально-экономическими системами***

**Лекция-4.** Проблемы управления сложными, многопараметрическими, нелинейными, активными социально-экономическими системами. Требования к экономико-математическим моделям и программному инструментарию для управления социально-экономическими системами, информация о которых неполна (фрагментирована) и зашумлена. Принцип Эшби.

**Лекция-5.** Теоретические основы Автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ):

– формализуемая когнитивная концепция и когнитивный конфигуратор;

– математическая модель АСК-анализа, основанная на системном обобщении теории информации;

– методика численных расчетов, в универсальной форме реализующая математическую модель АСК-анализа, включающая иерархическую структуру данных и 24 детальных алгоритма 10 базовых когнитивных операций.

**Лекция-6.** Специальное инструментальное программное обеспечение, реализующее математическую модель и численный метод АСК-анализа – Универсальная когнитивная аналитическая система "Эйдос".

**Лекция-7.** Данные, информация, знания в соответствии с концепцией смысла «Шенка-Абельсона». Преобразование данных в информацию, а ее в знания и использование знаний для управления.

**Лекция-8.** Применение АСК-анализа и системы «Эйдос» для проектирования, синтеза и эксплуатации в адаптивном режиме системы организационного управления социально-экономической системой:

1) когнитивная структуризация предметной области;

2) формализация предметной области (конструирование классификационных и описательных шкал и градаций и подготовка обучающей выборки); типы измерительных шкал и метризация шкал;

3) синтез системы моделей предметной области (в настоящее время система «Эйдос» поддерживает 3 статистические модели и 7 моделей знаний);

4) верификация (оценка достоверности) системы моделей предметной области;

5) повышение качества системы моделей и выбор наиболее достоверной модели для решения задач;

6) решение задач идентификации, прогнозирования и поддержки принятия решений (непригодность прогнозирования для принятия решений, принятие управленческих решений, как решение обратной задачи прогнозирования);

7) исследование моделируемого объекта путем исследования его моделей: кластерно-конструктивный анализ классов и факторов; содержательное сравнение классов и факторов; изучение системы детерминации состояний моделируемого объекта, нелокальные нейроны и интерпретируемые нейронные сети прямого счета; построение классических когнитивных моделей (когнитивных карт); построение интегральных когнитивных моделей (интегральных когнитивных карт).

### ***Раздел 3. Примеры автоматизированных систем управления социально-экономическими системами***

**Лекция-9.** Управление трудовыми ресурсами с применением системно-когнитивного и функционально-стоимостного анализа

**Лекция-10.** Управление качеством жизни населения региона.

**Лекция-11.** Оперативное управление территориально-распределенным межотраслевым агропромышленным комплексом в период уборки и заготовки сельскохозяйственной продукции.

**Лекция-12.** Повышение уровня системности объекта управления как источник эффективности организационных систем управления



## 1 Лекция-1. Предмет теории управления. Классификация систем управления<sup>1</sup>

Теория управления представляет собой науку, изучающую процессы управления в социально-экономических системах, содержание и форму управленческих отношений, закономерности их возникновения и развития, а также принципы эффективного управления. Феномен управления известен еще с античных времен и изучался многими общественными науками (философией, правоведением, социологией, политологией и др.), призванными изучать общество и законы его развития. Таким образом, чтобы получить достаточно полное представление об управлении, нельзя ограничиваться методами одной или нескольких наук. Д.М.Гвишиани подчеркивает, что «сложный процесс управления требует комплексного значения, которое синтезирует достижения самых разных дисциплин, изучающих каждая в своем аспекте процессы управления». Целью управления является формирование целостного представления о взаимодействии сложных систем разной природы (технические, социальные, экономические и т.п.), их структур, внешних и внутренних связей, саморазвитии и воздействия одна на другую, о специфических отношениях, которые складываются между объектом и субъектом управления в процессе их взаимодействия. Исследования показывают, что сегодня нет чисто экономических, социальных, политических образований (систем и процессов). Появились интегральные зоны, такие, как социально-экономическая, культурно-политическая и др. Изменения в системах, особенно социальных, давно уже не носят линейного характера, хотя воздействия на них в обществе по-прежнему преимущественно односложные. Поэтому наука управления не может ограничиться только воздействием на отдельно взятую сферу, она изучает общие законы и принципы их функционирования, развития и саморазвития. Однако наука управления должна рассматривать управленческое бытие любой сферы, т.е. процесс управления для реализации которого, в свою очередь, необходим механизм реализации управления. Процесс управления и механизм управления должны соответствовать друг другу и цели управления как особому виду человеческой деятельности. Поэтому объектом теории управления является как процесс управления, так и его механизм

Предмет науки управления как междисциплинарной дисциплины предполагает, что основными методами ее исследования является системный подход, системный анализ управленческих явлений, который объединяет совокупность методов и средств, помогающих изучить свойства и структуру общества в целом, представив его в качестве сложной системы. Однако смещение акцента на активное сознательное отношение человека к миру подтолкнуло к широкому исследованию проблем социального управления и

---

<sup>1</sup> Бурганова Л. Теория управления: учебное пособие. 2010, ИНФРА-М, ISBN: 978-5-16-003454-6, Источник: [http://www.kniga.com/books/preview\\_txt.asp?sku=ebooks309204](http://www.kniga.com/books/preview_txt.asp?sku=ebooks309204)

психологии управления. Важную роль в управлении играют информационные технологии и применение компьютерных систем, что существенно меняет содержание управленческого труда и значительно повышает уровень его эффективности. Ныне центр тяжести всей исследовательской работы в области технологии управления приходится именно на разработку проблем рационального управления. Более того, анализ литературы показывает, что сложилось уже целое направление (школа принятия решений), рассматривающее механизм управления с точки зрения принятия решений. Как отмечает Б.З. Мильнер, в настоящее время уже можно говорить «о некотором достаточно общем концептуальном аппарате, развиваемом вокруг таких понятий, как «решение», «процесс принятия решений», «система принятия решений» и других, а также о ряде связанных с ними более или менее обоснованных и эмпирически проверенных предпосылок и прикладных разработок». При оценке нынешних возможностей использования новейшей техники обработки информации нужно помнить, что классы задач, стоящих перед органами управления, неоднородны. Среди них есть задачи формально определенные, не вполне формализуемые и оригинальные, творческие, включая те, которые пока что находятся за пределами научного решения. Поэтому принципиально неодинакова и роль компьютерных технологий в их решении. Ограничения в ее применении возрастают по мере продвижения по этому ряду задач от рутинных, стереотипных к нелинейным, творческим. Соответственно такому продвижению растет значение человеческого фактора в решении данных задач. Понятийный аппарат теории управления состоит из довольно обширного набора принципов и положений, которые могут быть воплощены в объектах любой природы - физической, биологической, социальной. Однако понятийный аппарат является абстрактным. Сердцевину теории управления составляют понятия, отражающие в основном свойства и отношения, а не материальную природу их носителей. Однако теория управления будет приближаться к адекватному отражению механизмов упорядочения общественных явлений, если будут учитывать материальные и физические ограничения (природа, человек). В этом кроется одно из существенных затруднений, с которыми сталкивается кибернетика при рассмотрении механизмов социального управления. Теория управления опирается на разные системы знаний, которые можно представить как: - управленческие аспекты наук; - конкретные науки об отдельных сторонах управления; - теория искусства управления. Управленческие аспекты включают данные разных наук, описывающих основные черты управления. Так, в последние годы в управлении широко используются социологические науки (социология, социология управления, социология организации, психология управления и др.). В этой связи в управлении наиболее реалистичным является феноменальный подход по отношению к субъекту управления и управленческой ситуации в целом. Это означает, что ни один управленец не может претендовать на абсолютно точное восприятие реальности и вынужден ее интегрировать в меру своих знаний и интеллекта.

Теория управления существенно сменила акцент внимания на изучение ценностных ориентаций и установок людей той или иной системы; исследует отношения как «субъективно-объективные», так и «субъектно-субъектные». Если теория управления изучает феномен управления как целостное комплексное явление (систему, процесс), то специальные науки своим предметом рассматривают законы и закономерности отдельных этапов процесса управления: планирования и прогнозирования; руководства, контроля, управления персоналом и т.д. Теория искусства управления основана на эмпирических обобщениях, на базе конкретного опыта управления, что позволяет создать образы управления, конкретные управленческие ситуации. Она не имеет универсальных закономерностей и принципов, не предусматривает общих правил управления. Она позволяет талантливым управленцам находить неординарные решения в условиях неопределенности. В сочетании со знаниями общих законов и принципов управления теория искусства управления, основанная в большей мере на интуиции, индивидуальном восприятии, прошлом опыте, позволяет получить оптимальный управленческий результат. В последние годы активно изучается роль интуиции в процессе принятия решения. Предмет теории управления является дискуссионным вопросом. Современная теория систем подтвердила великую истину диалектики, что целое имеет закономерности, не сводимые к закономерностям составляющих это целое компонентов. «Отдельные части тела лишь в своей сути то, что они суть. Рука, отделенная от тела, лишь по названию рука», - утверждал Аристотель. Предметом теории управления являются закономерности, присущие управлению в целом, не отдельным функциям или сторонам управления, а управлению, рассматриваемому как целостное, комплексное и конкретное социальное явление.

**САУ** – системы автоматического управления.

**АСУ** – автоматизированные системы управления.

**АСУ ТП** - автоматизированные системы управления технологическими процессами (объект управления - техническая система).

**АСОУ** - автоматизированные системы организационного управления (объект управления - человек).

**Состав АСУ:** объект управления, управляющая система, управляющие факторы, информация обратной связи, цель управления, модель объекта управления, отражающая взаимосвязи между управляющими факторами и поведением объекта управления, окружающая среда.

## 2. Лекция-2. Состав системы управления, цикл управления, функции управления<sup>2</sup>

Управление как социальный феномен известен с древних времен и является предметом изучения целого ряда наук, в том числе менеджмента, социологии, политологии, философии, кибернетики, психологии, экономики. Таким образом, теория управления как самостоятельная отрасль знания формируется и развивается как междисциплинарная система. Структура этой науки включает в себя разделы вышеперечисленных дисциплин, касающиеся управления. Это значит, что теория управления включает в себя социологию управления, экономику управления, философию управления, психологию управления, политику как искусство управления государством, менеджмент как науку и искусство управления организацией. Особое значение для становления теории управления имела кибернетика как наука об общих чертах процессов и систем управления в технических устройствах, живых организмах и человеческих организациях.

В современной науке управления выделяют два уровня знания, первый из которых представлен общими теориями социального управления, а второй – прикладными теориями организации и управления, обеспечивающими базу для практических рекомендаций по рационализации труда и совершенствованию управления.

*Объектом теории управления* являются управленческие отношения, то есть такие социальные отношения, которые складываются между организациями, учреждениями и отдельными индивидами (представителями этих организаций и учреждений) в процессе управленческой деятельности и устанавливают определенную структуру соподчинения между ними.

Управленческие отношения складываются по поводу координации и субординации общественных связей. В управленческих отношениях проявляется особый характер социального взаимодействия – соподчиненность, субординация, предполагающая, с одной стороны, авторитет целого, с другой – подчинение этому авторитету.

В качестве *предмета теории управления* могут выступать следующие направления научного исследования:

- сущность управленческих отношений как системы взаимодействия людей по поводу организации их совместной жизни;
- механизм управления различными социально-экономическими системами и их регулирование;
- механизм самоорганизации и саморегулирования;
- технологии и методика процесса управления;
- структурные элементы системы управления;
- принципы, методы управления и т. д.

---

<sup>2</sup> Бурганова Л. Теория управления: учебное пособие. 2010, ИНФРА-М, ISBN: 978-5-16-003454-6, Источник: [http://www.kniga.com/books/preview\\_txt.asp?sku=ebooks309204](http://www.kniga.com/books/preview_txt.asp?sku=ebooks309204)

Вычленение объекта и предмета теории управления позволяет дать определение данной отрасли знания. **Теория управления** *представляет собой науку, изучающую управленческие процессы в социально-экономических системах, принципы, содержание и формы управленческих отношений*. В центре ее внимания и изучение механизмов и социальных технологий эффективного управления.

Основными **понятиями** и **категориями**, используемыми в теории управления, являются: управление, система, субъект, объект, цель и принципы управления, управленческие отношения, методы, функции и процесс управления.

Теория управления при изучении своего предмета опирается на собственную методологию. Методологией называют систему принципов научного исследования. **Методология теории управления** – это совокупность исследовательских методов, процедур, техник, используемых при познании управленческих процессов. Выделяются несколько *уровней методологии*:

- философская методология (совпадает с гносеологией);
- общенаучная методология, в которой рассматриваются принципиальные подходы и методы познания, встречающиеся во всех науках;
- специально-научная методология, т. е. методология конкретных наук, в данном случае – теории управления;
- методика и техника научного исследования.

*Соотношение теории и методологии* можно выразить так: теория отвечает на вопрос: что необходимо делать, а методология – как необходимо делать. Она объясняет, как надо использовать познавательные средства в исследовательской деятельности.

*Среди важнейших общенаучных методологических подходов выделим:*

- исторический, рассматривающий явление в генезисе;
- сравнительный, выявляющий общие и специфические свойства, этапы становления и развития одного и того же явления;
- системный, исследующий социальное явление в виде социальной системы;
- комплексный, ориентированный на междисциплинарный синтез для получения многостороннего и целостного изучения сложно-организованных объектов.

Подчеркнем *основные требования к использованию системного подхода*:

- выделение той или иной системы из окружающего мира и определение взаимосвязи между ней и средой;
- определение составных элементов системы;
- рассмотрение отношений между элементами и определенной структурой системы;
- анализ функций элементов по отношению к системе;
- выявление системообразующих связей;
- определение механизма функционирования системы.

Обращаясь к характеристике *специально-научной методологии*, следует отметить, что их роль могут выполнять парадигмы и теории конкретных наук – социологии, психологии, кибернетики, экономики, менеджмента и т. д.

Выделим, прежде всего, такие подходы, как бихевиористский, ситуационный, количественный, деятельностный.

*Бихевиоризм* представляет собой прагматический подход к изучению организационно-экономического поведения людей. Программа бихевиоризма и сама теория были впервые представлены Уотсоном в 1913 г. Бихевиоризм акцентирует внимание на внешних формах поведения и его составных элементах – поступках, реакциях и т. д. Общеметодологическими предпосылками бихевиоризма явились принципы философии примитивизма, согласно которым наука должна описывать только непосредственно наблюдаемое. Отсюда и основной его тезис – изучать не сознание, а поведение, трактуемое как совокупность связей «стимул-реакция». Бихевиоризм не занимается поиском причинно-следственной зависимости поведения, он лишь фиксирует обнаруженные эмпирические связи между определенными «стимулами» и «реакциями» работников в производственной обстановке, отбирая в этих связях наиболее функциональные, быстро переводимые на язык практических предложений и рекомендаций.

*Ситуационный подход* был разработан в США в конце 60-х гг. XX в. В рамках данного подхода отрицается возможность выдвижения любых универсальных принципов управления деятельностью вне контекста деятельности, специфики ситуации, типа решаемых задач и внешней среды, технологии и др. Сторонники ситуационного подхода критикуют понятие социальной системы, настаивают на ограниченном его применении в управленческой практике. Они полагают, что организация является слишком сложной и динамичной системой, и вне контекста ситуации невозможно сформулировать универсальные требования к эффективной организации. Одним из центральных понятий, используемых представителями ситуационного подхода, является категория управленческой ситуации. Управленческая ситуация – это совокупность всех внутренних и внешних условий, определяющих закономерности развития и функционирования организации.

Представителями данного подхода в контексте ситуации были проанализированы ограничения на применение моделей организации, выдвинутые различными школами. Так, в качестве ограничения на применение:

- бюрократической модели они рассматривают динамичную внешнюю среду и изменяющуюся технологию;
- органической модели – низкую квалификацию персонала;
- децентрализованной модели организации – высокий уровень автоматизации.

Сторонниками ситуационного подхода, таким образом, был выдвинут постулат, согласно которому каждому типу управленческих ситуаций,

решаемых задач, внешней среды, технологии соответствуют свои оптимальные требования к состоянию организации, средства, стратегия и структура.

*Количественный подход* в теории управления основан на применении математических методов к исследованию операций в организации и деятельности руководителя. Он также сводится к формированию моделей поведения. Создание модели позволяет:

- упростить сложные схемы поведения сокращением числа переменных факторов до пределов управляемости;
- объективно сравнить и описать каждый фактор и отношения между ними;
- использовать компьютеры для конструирования и анализа модели с большим числом переменных факторов.

Этот подход не получил широкого применения в силу того, что не все руководители владеют методологией количественного анализа.

*Процессный подход* основан на рассмотрении функций руководителя как процесса взаимосвязанных между собой действий. Общий процесс деятельности организации складывается из совокупности процессов деятельности ее членов, каждый из которых, в свою очередь, представляет совокупность выполняемых функций, состоящих из ряда взаимосвязанных процессов.

*Деятельностный подход* включает в себя выявление цели, средств, процесса и результата действий руководителя. При этом, если основанием деятельностного подхода является сознательно формулируемая цель, то основание цели лежит вне деятельности руководителя – в сфере мотивов, идеалов, интересов и ценностей работников.

Методология теории управления подвержена постоянным изменениям. Она постоянно обогащается, подчиняясь требованиям более глубокого познания управленческих отношений и процессов, которые, в свою очередь, также находятся в постоянном развитии.

*Цели теории управления:*

- изучение наиболее важных, типичных форм управленческих отношений, в которых проявляется взаимодействие управляющих и управляемых;
- определение основных тенденций развития управленческих процессов;
- построение наиболее вероятных направлений и сценариев развития управленческой деятельности в будущем;
- формулирование научно-обоснованных рекомендаций по совершенствованию системы управления.

*Методология теории управления выполняет несколько функций:*

- *познавательную* (связанную с изучением сущности управленческих отношений);
- *описательную* (собирает, систематизирует, каталогизирует сведения о научной и практической стороне управления);

- объяснительную (объясняет, почему и в каких условиях в управлении были использованы те или иные познавательные средства);
- прогностическую (опираясь на анализ прошлого и настоящего в управлении, определяет перспективные пути изменения в управленческой деятельности в обозримом будущем);
- контрольную (осуществляет контроль за организацией управленческого процесса, в том числе с точки зрения того, насколько в нем правильно используются познавательные средства и насколько полно и целостно изучен тот или иной объект управления);
- оценочную (оценка того, в какой мере соответствует или не соответствует существующая система управления основным тенденциям развития общества, социальным ожиданиям, потребностям и интересам людей);
- образовательно-воспитательную (распространяет знания об управлении, его основных функциях, целях, механизмах);
- прикладную (разрабатывает научно-обоснованные рекомендации по совершенствованию системы управления обществом и его элементов).

В этих функциях выражается практическая направленность методологии теории управления.



### 3 Лекция-3. Понятие системы и уровня системности. Информационные меры уровня системности. Цель управления системами. Социально- экономические системы. Системный подход к управлению социально-экономическими системами

#### 2.3.1 Система как обобщение множества. Системное обобщение математики и задачи, возникающие при этом

В науке принято два основных принципа определения понятий:

– через подведение определяемого понятия под *более общее* понятие и выделение из него определяемого понятия путем указания одного или нескольких его *специфических* признаков (например, млекопитающие – это животные, выкармливающие своих детенышей молоком);

– процедурное определение, которое определяет понятие путем указания *пути* к нему или способа его достижения (магнитный северный полюс – это точка, в которую попадешь, если все время двигаться на север, определяя направление движения с помощью магнитного компаса).

Как это ни парадоксально, но понятия системы и множества могут быть определены друг через друга, т.е. трудно сказать, какое из этих понятие является более общим.

**Определение системы через множество.**

*Система есть множество элементов, взаимосвязанных друг с другом, что дает системе новые качества, которых не было у элементов.* Эти новые системные свойства еще называются эмерджентными, т.к. не очень просто понять, откуда они берутся. Чем больше сила взаимодействия элементов, тем сильнее свойства системы отличаются от свойств множества и тем выше уровень системности и синергетический эффект. Получается, что система – это множество элементов, но не всякое множество, а только такое, в котором элементы взаимосвязаны (это и есть специфический признак, выделяющий системы в множестве), т.е. множество – это более общее понятие.

**Определение множества через систему.**

Но можно рассуждать и иначе, считая более общим понятием систему, т.е. мы ведь можем определить понятие множества через понятие системы. **Множество** – это система, в которой сила взаимодействия между элементами равна нулю (это и есть отличительный признак, выделяющий множества среди систем). Тогда более общим понятием является система, а множества – это просто системы с нулевым уровнем системности.

Вторая точка зрения объективно является предпочтительной, т.к. совершенно очевидно, что *понятие множества является предельной абстракцией от понятия системы и реально в мире существуют только системы, а множеств в чистом виде не существует, как не существует математической точки.* Точнее сказать, что множества, конечно,

существуют, но всегда исключительно и *только в составе систем как их базовый уровень иерархии*, на котором они основаны.

Из этого вытекает очень важный **вывод**: *все понятия и теории, основанные на понятии множества, допускают обобщение путем замены понятия множества на понятие системы и тщательного прослеживания всех последствий этой замены*. При этом более общие теории будут удовлетворять принципу соответствия, обязательному для более общих теорий, т.е. в *асимптотическом* случае, когда сила взаимосвязи элементов систем будет стремиться к нулю, системы будут все меньше отличаться от множеств и системное обобщение теории перейдет к классическому варианту, основанному на понятии множества. В *предельном* случае, когда сила взаимосвязи *точно* равна нулю, системная теория будет давать *точно* такие же результаты, как основанная на понятии множества.

Этот вывод верен для всех теорий, но в данной работе для авторов наиболее интересным и важным является то, что очень многие, если не практически все понятия *современной математики* основаны на понятии множества, в частности на математической теории множеств. К таким понятиям относятся понятия:

- математической операции: преобразования одного или нескольких исходных множеств в одно или несколько результирующих;
- функциональной зависимости: отображение множества значений аргумента на множество значений функции для однозначной функции одного аргумента или отображение множеств значений аргументов на множества значений функций для многозначной функции многих аргументов;
- «количество информации»: функция от свойств множества.

В монографии [99] впервые сформулирована, а в работе [186] подробно обоснована программная идея системного обобщения математики, суть которой состоит в тотальной замене понятия "множество" на более общее понятие "система" и прослеживании всех последствий этого. При этом обеспечивается соблюдение принципа соответствия, обязательного для более общей теории, т.к. при понижении уровня системности система по своим свойствам становится все ближе к множеству и система с нулевым уровнем системности и есть множество. Приводится развернутый пример реализации этой программной идеи в области теории информации, в качестве которого выступает предложенная в 2002 году системная теория информации [97], являющаяся системным обобщением теории информации Найквиста – Больцмана – Хартли – Шеннона и семантической теории информации Харкевича. Основа этой теории состоит в обобщении комбинаторного понятия информации Хартли  $I = \text{Log}_2 N$  на основе идеи о том, что количество информации определяется не мощностью множества  $N$ , а мощностью системы, под которой предлагается понимать *суммарное* количество подсистем различного уровня иерархии в системе, начиная с базовых элементов исходного множества и заканчивая системой в целом. При этом в 2002 году, когда было предложено системное обобщение формулы Хартли,

число подсистем в системе, т.е. мощность системы  $N_s$ , предлагалось рассчитывать по формуле (3.1).

$$N_s = \sum_{m=1}^n C_n^m = 2^n - 1. \quad (3.1)$$

Соответственно, системное обобщение формулы Хартли для количества информации в системе из  $n$  элементов предлагалось в виде (3.2):

$$I_s = \text{Log}_2 N_s = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^n C_n^m \quad (3.2)$$

В работе [270] дано системное обобщение формулы Хартли для количества информации для квантовых систем, подчиняющиеся статистике как Ферми-Дирака, так и Бозе-Эйнштейна, и стало ясно, что предложенные в 2002 году в работе [97] вышеприведенные выражения имеют силу только для систем, подчиняющихся статистике Ферми-Дирака.

В работе [188] кратко описывается семантическая информационная модель системно-когнитивного анализа (СК-анализ), вводится универсальная информационная мера силы и направления влияния значений факторов (независимая от их природы и единиц измерения) на поведение объекта управления (основанная на лемме Неймана – Пирсона), а также неметрический интегральный критерий сходства между образами конкретных объектов и обобщенными образами классов, образами классов и образами значений факторов. Идентификация и прогнозирование рассматривается как *разложение* образа конкретного объекта в ряд по обобщенным образам классов (объектный анализ), что предлагается рассматривать как возможный вариант решения *на практике* 13-й проблемы Гильберта.

В статьях [189, 191] обоснована идея системного обобщения математики и сделан первый шаг по ее реализации: предложен вариант системной теории информации [97, 201]. В данной работе осуществлена попытка сделать второй шаг в этом же направлении: на концептуальном уровне рассматривается один из возможных подходов к системному обобщению математического понятия множества, а именно – подход, основанный на системной теории информации. Предполагается, что этот подход может стать основой для системного обобщения теории множеств и создания математической теории систем. Сформулированы задачи, возникающие на пути достижения этой цели (разработки системного обобщения математики) и предложены или намечены пути их решения:

**Задача 1:** найти способ представления системы как совокупности взаимосвязанных множеств.

**Задача 2:** сформулировать, чем отличаются друг от друга различные системы, состоящие из одних и тех же базисных элементов.

**Задача 3:** обосновать принципы геометрической интерпретации понятий: "элемент системы" и "система".

**Задача 4:** предложить способы аналитического описания (задания) подсистем как элементов системы.

**Задача 5:** описать системное семантическое пространство для отображения систем в форме эйдосов (эйдос-пространство).

**Задача 6:** описать принцип формирования эйдосов (включая зеркальные части).

**Задача 7:** показать, что базовая когнитивная концепция [97] формализуется *многослойной* системой эйдос-пространств (термин автора) различных размерностей.

**Задача 8:** показать, что системная теория информации позволяет непосредственно на основе эмпирических данных определять вид функций принадлежности, т.е. решать одну из основных задач теории нечетких множеств.

**Задача 9:** сформулировать перспективы: разработка операций с системами: объединение (сложение), пересечение (умножение), вычитание. Привести предварительные соображения по сложению систем.

Далее рассмотрим более подробно некоторые основные результаты перечисленных выше работ и некоторых других без дополнительных специальных ссылок на них, т.к. они уже даны.

#### 2.3.1.1. Программная идея системного обобщения математики и ее применение для создания системной теории информации

Фундаментом, находящимся в самом основании грандиозного здания современной математики, являются понятие *множества* и *теория множеств*. Теория множеств лежит в основе самого глубокого в настоящее время обоснования таких базовых математических понятий, как "число" и "функция". Определенное время этот фундамент казался незыблемым. Однако вскоре в работах выдающихся ученых XX века, прежде всего, Давида Гильберта, Бертрانا Рассела и Курта Геделя, со всей очевидностью было обнажены фундаментальные логические и лингвистические проблемы, в частности, проявляющиеся в форме *парадоксов теории множеств*. Это, в свою очередь, привело к появлению ряда развернутых предложений по пересмотру самых глубоких оснований математики. В задачи данной работы не входит рассмотрение этой интереснейшей проблематики, а также истории возникновения и развития понятий числа и функции.

Однако очевиден тот факт, что Вселенная состоит из *систем* различных уровней иерархии.

Система представляет собой *множество элементов*, объединенных в целое за счет *взаимодействия* элементов друг с другом, т.е. за счет *отношений* между ними, и обеспечивает преимущества в достижении *целей*.

Преимущества в достижении целей обеспечиваются за счет *системного эффекта*.

Системный эффект состоит в том, что *свойства* системы *не сводятся* к сумме свойств ее элементов, т.е. система, как целое, обладает рядом *новых*,

*т.е. эмерджентных* свойств, которых не было у ее элементов, взятых по отдельности [97].

Уровень системности тем выше, чем выше *интенсивность взаимодействия* элементов системы и сильнее отличаются свойства системы от свойств входящих в нее элементов, т.е. *чем выше системный эффект, тем значительно отличается система от множества* [189].

Таким образом, *система обеспечивает тем большие преимущества в достижении целей, чем выше ее уровень системности* [189].

В частности, *система с нулевым уровнем системности вообще ничем не отличается от множества образующих ее элементов, т.е. тождественна этому множеству и никаких преимуществ в достижении целей не обеспечивает*. Этим самым достигается выполнение *принципа соответствия* между понятиями системы и множества, обязательного для более общей теории. Из соблюдения этого принципа для понятий множества и системы следует его соблюдение для математических понятий, в частности, понятий системной теории информации [253], основанных на теории множеств и их системных обобщений.

Поэтому **проблема**, решаемая в данной работе, состоит в явном **несоответствии** между системным характером **объекта\_познания** и несистемным характером современной математики, как **средства познания**. Он заключается в том, что, с одной стороны, мир, как объект познания, представляет собой совокупность систем различных уровней иерархии, а с другой – математика, как наиболее мощное средство познания и моделирования этого мира, основана не на теории систем, а на теории множеств.

Общеизвестна эффективность математики, которая тем более удивительна, если учесть, что она достигается уже фактически в нулевом приближении, т.е. при рассмотрении систем как множеств. Так, как может возрасти адекватность математики и ее мощь, как средства познания и универсального языка моделирования реальности, если удастся получить ее системное обобщение! Поэтому, на взгляд автора, *актуальность* разработки системного обобщения математики совершенно очевидна.

Предлагается следующая **программная идея системного обобщения математики**: *обобщить все понятия математики, базирующиеся на теории множеств, путем тотальной замены понятия множества на понятие системы и тщательного отслеживания всех последствий этой замены*.

Реализация данной программной идеи потребует, прежде всего, системное обобщение самой теории множеств и преобразование ее в "*Математическую теорию систем*", которая, согласно принципу соответствия, будет плавно переходить в современную классическую теорию множеств при уровне системности, стремящемся к нулю. При этом необходимо заметить, что существующая в настоящее время наука под названием "Теория систем" (а также: системный анализ, системный подход, информационная теория систем и т.п.) ни в коей мере не является обобщением

математической теории множеств, и ее не следует путать с предлагаемой "Математической теорией систем". На наш взгляд, существуют некоторые возможности обобщения ряда понятий математики и без разработки математической теории систем. К таким понятиям относятся, прежде всего, "информация" и "функция".

Системному обобщению понятия информации и применению этого понятия посвящены работы [93-279] и др. На основе предложенной системной теории информации (СТИ) были разработаны математическая модель и методика численных расчетов (структуры данных и алгоритмы), а также специальный программный инструментарий (система "Эйдос") автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ), который представляет собой системный анализ, автоматизированный путем его рассмотрения как метода познания и структурирования по базовым когнитивным операциям.

В АСК-анализе теоретически обоснована и реализована на практике в форме конкретной информационной методики и технологии процедура установления новой универсальной, сопоставимой в пространстве и времени, ранее не используемой количественной, т.е. выражаемой числами, меры соответствия между событиями или явлениями любого рода, получившей название "системная мера целесообразности информации", которая, по сути, является количественной мерой знаний [170]. Это является достаточным основанием для того, чтобы назвать эти числа "когнитивными" от английского слова "cognition" – "познание".

В настоящее время под функцией понимается соответствие друг другу нескольких множеств чисел. Поэтому виды функций можно классифицировать, по крайней мере, в зависимости от:

- природы этих чисел (натуральные, целые, дробные, действительные, комплексные и т.п.);
- количества и вида множеств чисел, связанных друг с другом в функции (функции одного, нескольких, многих, счетного или континуального количества аргументов, однозначные и многозначные функции, дискретные или непрерывные функции);
- степени жесткости и меры силы связи между множествами чисел (детерминистские функции, функции, в которых в качестве меры связи используется вероятность, корреляция и другие меры);
- степени расплывчатости чисел в множествах и самой формы функции (четкие и нечеткие функции, использование различных видов шкал, в частности, интервальных оценок).

Так как функции, выявляемые модели предметной области методом АСК-анализа, связывают друг с другом множества когнитивных чисел, то предлагается называть их "когнитивными функциями" [280]. Учитывая перечисленные возможности классификации функций, когнитивные функции можно считать нечеткими интервальными недетерминистскими многозначными функциями многих аргументов, в которых в качестве меры силы связи между множествами значений аргумента и значений функции

используется количество информации или знаний. Отметим, что детерминистские однозначные функции нескольких аргументов могут рассматриваться как частный случай когнитивных функций, к которому они сводятся при анализе жестко детерминированной предметной области, скажем макроскопических механических явлений, описываемых классической физикой.

Автором предлагается программная идея системного обобщения понятий математики, в частности теории информации, основанных на теории множеств, путем замены понятия множества на более содержательное понятие системы. Частично эта идея была реализована автором при разработке автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализа), математическая модель которого основана на системном обобщении формул для количества информации Хартли и Харкевича. Реализация следующего шага – системное обобщение понятия функциональной зависимости рассматривается в работе [280], в ней же вводятся новые научные понятия и соответствующие термины "когнитивные функции" и "когнитивные числа". На численных примерах показано, что АСК-анализ обеспечивает выявление когнитивных функциональных зависимостей в многомерных зашумленных фрагментированных данных.

**Вывод.** Формулируется и обосновывается программная идея системного обобщения математики, суть которой состоит в тотальной замене понятия "множество" на более общее понятие "система" и прослеживание всех последствий этого. При этом обеспечивается соблюдение принципа соответствия, обязательного для более общей теории, т.к. система с нулевым уровнем системности есть множество. Приводится развернутый пример реализации этой программной идеи, в качестве которого выступает предложенная автором [97] системная теория информации, являющаяся системным обобщением теории информации Найквиста – Больцмана – Хартли – Шеннона и семантической теории информации Харкевича.

Необходимо отметить, что сходные идеи независимо развиваются В.Б. Вяткиным в ряде интересных работ<sup>3</sup>, посвященных созданию **синергетической теории информации** (считаю это название очень удачным). Видимо, подобные идеи буквально «ви тают в воздухе».

### *2.3.1.2 Неформальная постановка и обсуждение задач, возникающих при системном обобщении теории множеств*

Данный раздел основан на работе [189]. *Впервые программная идея системного обобщения математики и явной форме была сформулирована автором в 2005 году в работе [166], а системная теория информации (СТИ), являющаяся ее реализацией в области теории информации, предложена в 2002 году [97], сами же идеи и математические модели развивались и ранее,*

---

<sup>3</sup> См., например: <http://www.vbvbv.narod.ru/> <http://ej.kubagro.ru/a/viewaut.asp?id=762>  
Отметим также, что эти работы пользуются большой популярностью у плагиаторов: <http://trv-science.ru/2011/11/08/gruppovoj-plagiat-ot-studenta-do-ministra/>

фактически с 1979 года<sup>4</sup>. В работе поставлена *цель* – сделать **второй шаг** в том же направлении: на концептуальном уровне *рассмотреть один из возможных подходов к системному обобщению математического понятия множества, а именно – подход, основанный на системной теории информации*. Предполагается, что этот или подобный подход может способствовать *созданию математической теории систем как системного обобщения теории множеств*, что является весьма актуальным как для самой математики, так и для наук, использующих математику.

Для достижения данной цели осуществим ее декомпозицию в последовательность *задач*, являющихся этапами ее достижения:

**Задача 1:** найти способ представления системы как совокупности взаимосвязанных множеств.

**Задача 2:** сформулировать, чем отличаются друг от друга различные системы, состоящие из одних и тех же базисных элементов.

**Задача 3:** обосновать принципы геометрической интерпретации понятий: "элемент системы" и "система".

**Задача 4:** предложить способы аналитического описания (задания) подсистем как элементов системы.

**Задача 5:** описать системное семантическое пространство для отображения систем в форме эйдосов (эйдос-пространство).

**Задача 6:** описать принцип формирования эйдосов (включая зеркальные части).

**Задача 7:** показать, что базовая когнитивная концепция формализуется **многослойной** системой эйдос-пространство (термин автора) различных размерностей.

**Задача 8:** показать, что системная теория информации позволяет непосредственно на основе эмпирических данных определять вид функций принадлежности, т.е. решать одну из основных задач теории нечетких множеств.

**Задача 9:** сформулировать перспективы: разработка операций с системами: объединение (сложение), пересечение (умножение), вычитание. Привести предварительные соображения по сложению систем.

Кратко, *на концептуальном уровне, т.е. на уровне идей, без разработки соответствующего математического формализма* рассмотрим **предлагаемый вариант решения этих задач**.

**Задача 1:** *найти способ представления системы как совокупности взаимосвязанных множеств*.

Для того чтобы получить системное обобщение теории множеств, необходимо найти способ представления **системы как совокупности взаимосвязанных множеств**. Ожидается, что это позволит с минимальными доработками применить прекрасно разработанный аппарат теории множеств для описания систем.

---

<sup>4</sup> См.: [189]



### Определение 1:

1. Система есть **иерархическая** структура подсистем.
2. В каждой системе существует нулевой наиболее фундамен-тальный уровень иерархии, представляющий собой классическое множество базисных элементов, **не имеющих никаких свойств**.
3. Каждая подсистема **относится** к определенному уровню иерархии системы, который определяется только количеством базисных элементов в данной подсистеме.
4. Элементами подсистем каждого уровня иерархии являются как подсистемы предыдущих более фундаментальных уровней иерархии, так и базисные элементы.

Таким образом, будем считать, что система отличается от множества базисных элементов, из которых она состоит, тем, что эти элементы образуют *подсистемы различной структуры и сложности* (рисунок 1.3).

В простейшем случае можно считать, что элементы системы (подсистемы) не имеют внутренней структуры, т.е. не включают в себя подсистемы, а являются *подмножествами базисного множества*, состоящими **непосредственно** из базисных элементов. Но вообще говоря это не так<sup>5</sup>.

На рисунке 3.2 показаны как элементы-подмножества базисного уровня (23, 456 78910: отмечены зеленым цветом), так и элементы-под-системы, включающие не только непосредственно элементы базисного уровня, но и их подмножества или подсистемы (123, 23456, 45678910: отмечены желтым цветом).

Из рисунка 3.2 также видно, что различие между элементами-под-

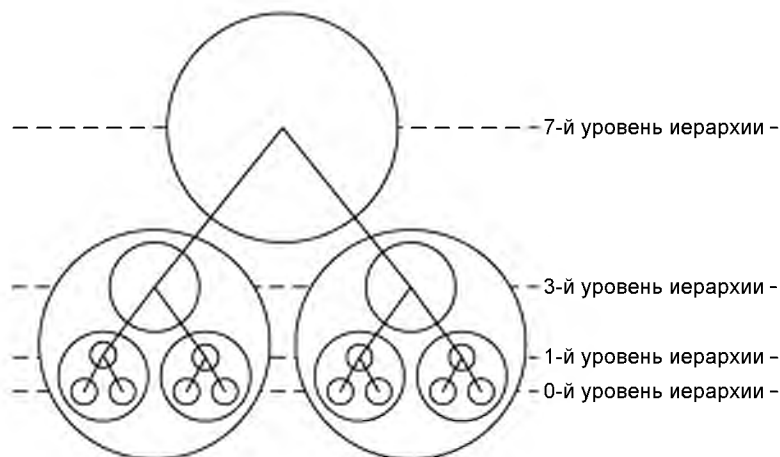


Рисунок 3.1 – Элементы и подсистемы различных уровней иерархии

<sup>5</sup> <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL512008/p1215.pdf>

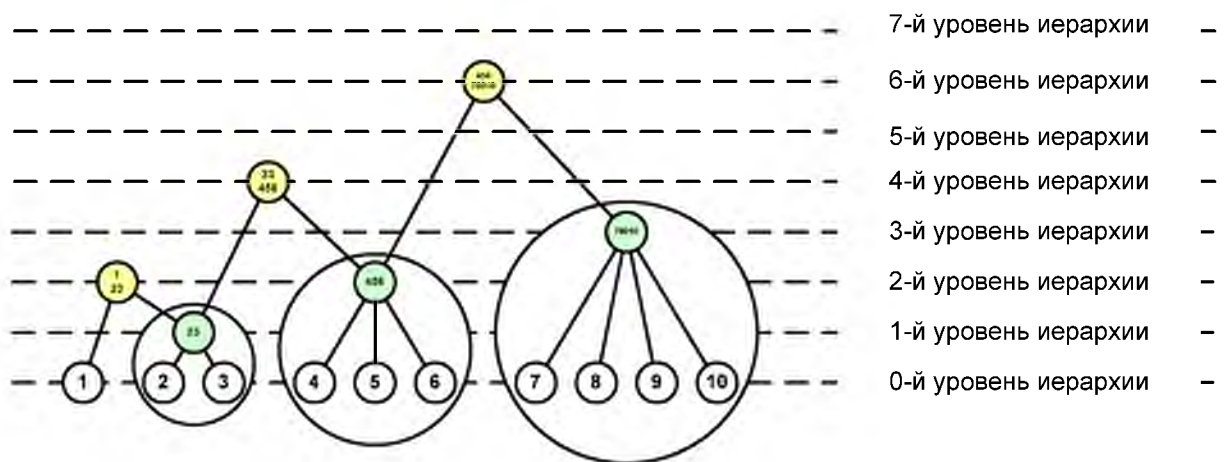


Рисунок 3.2 – Элементы-подмножества и элементы-подсистемы различных уровней иерархии системы

множествами и элементами-подсистемами возникает только для элементов, начиная со 2-го уровня иерархии, т.к. только для этих элементов возможен *уровень сложности*, достаточный для существования этого различия [170]. Например, видно, что элемент-подсистема 123 *отличается* от элемента-подмножества 456 наличием внутренней структуры, т.е. тем, что включает не только базисный элемент 1, но и подсистему 23, при этом и оба элемента: и 123, и 456 относятся ко 2-му уровню иерархии системы.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что *два элемента тождественны*, если они состоят из одних и тех же базисных элементов и у них *тождественна структура*. Отметим, что поскольку у множеств нет структуры, то для тождества множеств *достаточно* тождества входящих в них элементов.

Для системы, состоящей из элементов-множеств, можно применять термин "аморфная система" (например: газ или жидкость), а из элементов-систем – "структурированная система" (например: кристалл). Аморфные и структурированные системы, состоящие из одних и тех же базисных элементов, можно считать различными фазовыми состояниями одной системы, отличающимися уровнем системности.

**Задача 2:** *сформулировать, чем отличаются друг от друга различные системы, состоящие из одних и тех же базисных элементов.*

Для того чтобы решить эту задачу, сформулируем несколько определений.

**Определение 2:** *Полной или максимальной системой* будем называть такую систему, в которой реализуются все формально возможные сочетания базисных элементов.

Таким образом, если в системе имеется  $n$  базисных элементов, то полная система включает  $C_n^m$  подсистем, представляющих собой сочетания базисных элементов по  $m$ , где  $m=\{1, 2, 3, \dots, n\}$ . Подсистемы полной системы можно классифицировать различными способами, но одним из наиболее простых и естественных является классификация по их *мощности* (в смысле теории множеств), т.е. по *количеству входящих* в них *базисных* элементов.

**Определение 3:** *Мощностью подсистемы* будем называть количество входящих в нее базисных элементов.

*Определение 4:*  $k$ -й уровень иерархии системы состоит из всех ее подсистем *мощности*  $(k+1)$ .

Из определений 3 и 4 следует, что:

0-й уровень иерархии системы состоит из подсистем, включающих 1 базисный элемент, это базисный уровень иерархии, на котором система не отличается от множества;

1-й уровень иерархии системы состоит из подсистем, включающих 2 базисных элемента;

2-й уровень иерархии системы состоит из подсистем, включающих 3 базисных элемента;

.....

$k$ -й уровень иерархии системы состоит из подсистем, включающих  $(k+1)$  базисных элемента.

Из этих определений следует также, что базисный уровень является 0-м (нулевым) уровнем иерархии системы и состоит из подсистем мощности 1. Это означает, что сами базисные элементы можно рассматривать как *подсистемы*, имеющие мощность, равную 1, т.е. в определенном смысле можно считать, что базисный элемент состоит из самого себя, в отличие от элементов других иерархических уровней системы, которые включают базисные элементы, *но сами себя не включают*. Необходимо отметить, что если бы элементы различных иерархических уровней системы включали не только базисные элементы, но и самих себя, то мощность подсистем различных уровней изменялась бы следующим образом:

– элементы 0-го уровня иерархии, т.е. базисные элементы: мощность 1;

– элементы 1-го уровня иерархии: мощность 3 (2 базисных элемента + 1, т.к. элемент включает сам себя);

– элементы 2-го уровня иерархии: мощность 4 (3 базисных элемента + 1, т.к. элемент включает сам себя);

.....

– элементы  $k$ -го уровня иерархии: мощность  $(k+2)$  ( $(k+1)$  базисных элемента + 1, т.к. элемент включает сам себя), что, как мы считаем, *неприемлемо*, т.к. нарушает простую и очевидную логическую последовательность между 0-м и 1-м уровнями иерархии.

**Определение 5:** *Реальной системой* будем называть систему, в которой реализуются не все формально-возможные сочетания базисных элементов, а лишь *некоторые* из них.

В этом случае возникает естественный и закономерный вопрос: "По какой *причине* получается так, что в реальной системе реализуются не все, а лишь некоторые сочетания базисных элементов?" Для ответа на этот вопрос введем понятие "правила запрета".

**Определение 6:** *Правилами запрета* будем называть механизм или способ, с помощью которого обеспечивается формирование различной *структуры* систем, состоящих из одних и тех же базисных элементов.

Таким образом, *правила запрета* являются *средством* получения конкретных реальных систем из максимальной, включающей все возможные **сочетания** базисных элементов. Например, в квантовой механике существует Принцип запрета Паули для квантовых систем, подчиняющихся квантовой статистике Ферми-Дирака.

**Определение 7:**  *$n$ -тождественными системами* (т.е. системами, тождественными на  $n$ -м уровне иерархии) будем называть системы, состоящие из **одних и тех же** элементов на  $n$ -м уровне иерархии. Два элемента-подсистемы **тождественны**, если они состоят из **одних и тех же** базисных элементов и у них **тождественна структура**, т.е. **связи** между базисными элементами.

В частности, *0-тождественными* являются системы, состоящие из **одних и тех же** базисных элементов, независимо от того, отличаются ли они друг от друга **связями** между этими элементами, т.е. **своей структурой**.

Из определений 2 и 7 *следует*, что:

- реальные 0-тождественные системы являются *подмножествами* одной и той же полной системы;
- полная система является *объединением* всех возможных 0-тождественных реальных систем.

Отметим, что поскольку у множеств нет структуры, то для тождества множеств достаточно тождества входящих в них элементов.

**Задача 3:** *обосновать принципы геометрической интерпретации понятий "элемент системы" и "система"*.

Основываясь на аналогии между базисными элементами и геометрическими точками (и первые и вторые не имеют никаких свойств, кроме свойства отличаться друг от друга), *припишем базисным элементам смысл, аналогичный смыслу геометрической точки*. Тогда элементы-подмножества различных иерархических уровней системы, отличающиеся друг от друга количеством базисных элементов, можно представить в виде систем из соответствующего количества точек. Однако как геометрически интерпретировать эти системы?

Для того чтобы ответить на этот вопрос, обратим внимание на то, что:

- пространство 0-й размерности есть одна точка 0-й размерности, т.е. классическая точка, известная в математике (в частности, в геометрии, дифференциальном и интегральном исчислении), а также в основанной на них физике;
- пространство 1-й размерности – это **прямая линия**, однозначно определяется системой из **двух** точек 0-й размерности;
- пространство 2-й размерности – это **плоскость**, однозначно определяется системой из **трех** точек 0-й размерности;
- пространство 3-й размерности – это **пространство**, однозначно определяется системой из **четырёх** точек 0-й размерности;

.....

– пространство  $i$ -й размерности однозначно определяется системой из  $(i+1)$  точек 0-й размерности.

Однако различным количеством точек однозначно определяется не только положение пространства или гиперплоскости соответствующей размерности в многомерном пространстве, но и определенный тип **геометрической фигуры**:

- одна точка 0-й размерности задает точку;
- система из *двух* точек 0-й размерности задает *отрезок* прямой линии;
- система из *трех* точек 0-й размерности задает *треугольник*;
- система из *четырех* точек 0-й размерности задает *тетраэдр* (один из пяти 3-мерных многогранников *Платона*);

.....  
– система из  $i$  точек 0-й размерности задает многомерную фигуру, называемую  *$i$ -мерный симплекс*.

В этой связи возникает один очень существенный вопрос: "Каким образом получается так, что геометрические фигуры, образованные из точек нулевой размерности, вдруг приобретают новое качество, а именно ненулевую размерность, которого ни в какой форме не было у базисных элементов, из которых они состоят?"

По мнению автора, ответ на это вопрос самым непосредственным образом связан с понятием системных или эмерджентных свойств, т.е. с тем, что *система имеет качественно новые системные или эмерджентные свойства, которых не было у ее элементов (не сводящиеся к сумме свойств ее элементов)*. Кроме системного анализа, проблемами изучения системных свойств занимаются многие науки, в частности: химия, биология, физика, синергетика и математика, особенно теория фракталов.

Возникает известная "проблема кучи зерен", которую можно проиллюстрировать следующим образом: "Одно зерно – это явно не куча, два – тоже, и три, и четыре и пять – тоже, а вот 10 – это уже вроде как маленькая кучка, а вот "куча" – это, наверное, где-то от 1531 до 73568 зерен и более". В контексте данной работы и решаемой задачи "проблему кучи" можно переформулировать следующим образом: "*Какой минимальный элемент пространства или геометрической фигуры некоторой размерности можно считать обладающим той же размерностью, что и само пространство или фигура?*"

В химии аналогичный вопрос звучит примерно так: "Какой минимальный объем вещества обладает теми же химическими свойствами, что и макроколичество этого вещества". В химии ответ известен: это *молекула* данного вещества. Если молекулу любого вещества расщепить на элементы (атомы), перечисленные в таблице Д.И. Менделеева, из которых она состоит, то свойства этого вещества исчезнут, хотя элементы останутся. Однако что же при этом исчезает такое, что приводит к исчезновению свойств вещества? Ответ вполне очевиден: при расщеплении молекулы исчезают *взаимосвязи* между элементами (атомами), благодаря которым они и образовывали минимальную систему данного вещества, обладающую его

химическими свойствами, т.е. его молекулу. Необходимо отметить, что приведенный пример имеет несколько упрощенный характер, т.к. элементы таблицы Д.И. Менделеева также образуют вещества, т.е. простейшей молекулой является сам элемент. С другой стороны, макрообъект не всегда состоит из молекул, он может быть, например, ионным кристаллом как NaCl (поваренная соль).

В информационной теории систем (ИТС), идеи которой мы пытаемся развивать в данной работе, предлагается считать, что **минимальным элементом пространства или геометрической фигуры некоторой размерности, обладающим той же размерностью, что и само пространство или фигура, является точка этого пространства**".

Получается, что *пространства и геометрические фигуры различной размерности состоят из различных точек, т.е. точек также различной размерности*. Поэтому геометрические фигуры можно рассматривать как системы, состоящие из точек различной размерности и имеющие различную структуру взаимосвязей между этими точками. Таким образом, **геометрическим аналогом системы в рамках информационной теории систем является многомерная геометрическая фигура, состоящая из точек различной размерности и структуры, взаимосвязанных между собой в определенную структуру**.

Отметим, что в рамках данной работы мы не рассматриваем вопросы топологической целостности (связности) элементов фигур и наличия у них некоторой сплошной гиперповерхности, ограничивающей некоторый гиперобъем. Вопрос, связанный с метрикой пространства, будет конкретизирован при рассмотрении следующих задач. Отметим, что вообще понятие "геометрическая фигура" связано с понятиями "топологическое пространство" и "геометрическое место точек", кроме того, фигура может быть определена операционально, например, в форме некоторой начальной фигуры и алгоритма ее преобразования для получения элементов фигуры, как это делается в теории фракталов.

Итак, системы можно представить как многомерные геометрические фигуры, состоящие из точек различной размерности и структуры, взаимосвязанных между собой в определенную структуру. При этом *i*-мерные точки, **как системы**, имеют **эмерджентные** свойства (*i*-гиперобъем), которых не было у точек меньших размерностей, из которых они состоят:

- 0-мерная точка не имеет никаких качеств (0-мера:  $S^0$ );
- 1-мерная точка имеет длину (1-мера:  $S^1$ );
- 2-мерная точка имеет площадь (2-мера:  $S^2$ );
- 3-мерная точка имеет объем (3-мера:  $S^3$ );
- .....
- *i*-мерная точка имеет *i*-гиперобъем (*i*-мера:  $S^i$ ).

**Смысл размерности пространства состоит в том, что она количественно показывает, на сколько быстро возрастает**

**"содержимое" тела при увеличении его линейных размеров или при уменьшении линейных размеров объектов, "заполняющих" это тело.**

Одним из наиболее распространенных и общепринятых способов определения размерности многомерной геометрической фигуры является применение известной формулы Хаусдорфа:

$$D = \text{Log}(S) / \text{Log}(L), \quad (3.3)$$

где

$D$  – размерность многомерной геометрической фигуры;

$S$  – обобщенный объем многомерной геометрической фигу-

ры:  $S^1$  – длина,  $S^2$  – площадь,  $S^3$  – объем, ...,  $S^i$  –  $i$ -гиперобъем;

$L$  – линейный размер многомерной геометрической фигуры.

В соответствии с выражением (1), получаем:

– для линии ( $S^1$ ):  $D = \text{Log}(2) / \text{Log}(2) = 1,$

– для плоскости ( $S^2$ ):  $D = \text{Log}(4) / \text{Log}(2) = 2,$

– для объема ( $S^3$ ):  $D = \text{Log}(8) / \text{Log}(2) = 3.$

Обращает на себя внимание следующая закономерность:

– при увеличении линейных размеров геометрической фигуры в 2 раза ее  $i$ -гиперобъем возрастает в  $2^i$  раз;

– при размерности пространства, равной  $i$ , минимальное количество  $i$ -мерных шаров, заполняющих  $i$ -мерный куб, равно  $N=2^i$  (рисунок 3.3).

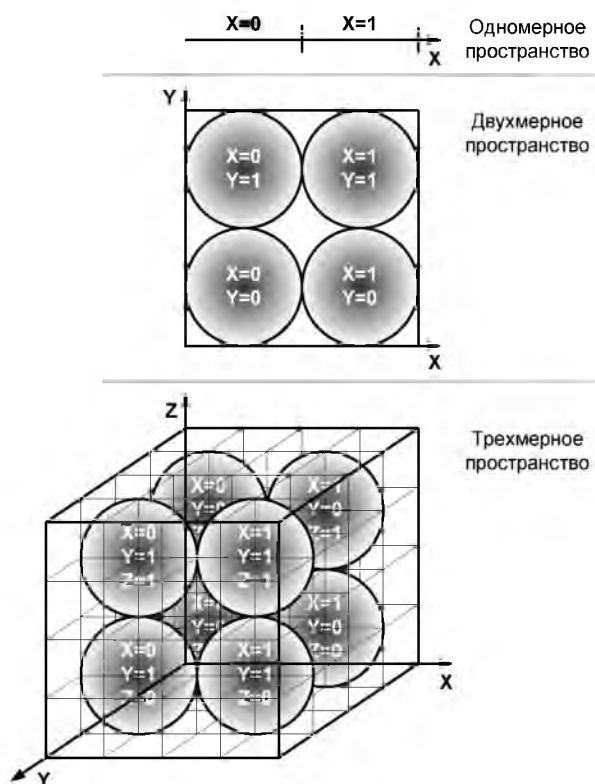


Рисунок 3.3 – Примеры плотной упаковки шаров в кубе, сторона которого в два раза превышает диаметр шара, при различных размерностях пространства и шаров (размерности: 1, 2 и 3)

Если  $i$ -шары имеют очень большой диаметр, сопоставимый с длиной ребра  $i$ -куба, то ясно, что в  $i$ -кубе всегда, независимо от размерности пространства, будет помещаться только один  $i$ -шар. Поэтому диаметр  $i$ -шара нужно взять таким, чтобы в  $i$ -кубе поместилось **несколько**  $i$ -шаров. Например, достаточно взять начальный диаметр в **два** раза меньше длины ребра. Тогда при уменьшении диаметра  $i$ -шаров их будет помещаться в  $i$ -кубе все больше и больше, и мы все точнее сможем определить размерность пространства, которая, как ясно из вышесказанного, является пределом  $D$ :

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \left( \frac{\text{Log}N[r]}{\text{Log}(1/r)} \right), \quad (3.4)$$

при  $r$ , стремящемся к нулю. Этот предел, *если он существует*, и называется кубической размерностью пространства. Известно, что Хаусдорфова размерность *не превосходит* кубическую, а для самоподобных фракталов (определение фракталов, как самоподобных множеств, дано Дж. Хатчинсоном) они *совпадают*. Самоподобным называется множество, части которого образованы из целого множества путем таких его преобразований, как масштабирование, отражение, перенос и поворот.

Таким образом, размерность пространства можно рассматривать или интерпретировать как количество осей координат, которых необходимо и достаточно для однозначного **определения положения** объектов в этом пространстве.

Казалось бы, в этом утверждении нет ничего нового. Однако не будем спешить с выводами.

Дело в том, что каждое значение координат несет некоторое количество **информации**, необходимой для **идентификации**  $i$ -объекта, путем определения его положения в  $i$ -пространстве, причем *это количество информации тем больше, чем выше размерность  $i$ -пространства*.

Таким образом, координаты  $i$ -объекта в  $i$ -пространстве вполне обоснованно можно рассматривать как **признаки** этого объекта, с помощью которых он идентифицируется, т.е. отличается от остальных объектов. Причем эти признаки можно рассматривать как **градации** описательных шкал, в качестве которых выступают оси координат, а сами шкалы могут быть номинальные, порядковые (интервальные) или числовые (шкалы отношений). По эти признакам необходимо идентифицировать объект. Это уже формулировка задачи идентификации или распознавания, которую можно решать, в том числе с применением теории информации. Таким образом, **появляется возможность исследования информационных свойств не только геометрического, но и физического пространства** (если учесть, что общая теория относительности ОТО, т.е. теория гравитации Альберта Эйнштейна описывает гравитацию как искривление пространства).

Таким образом, мы видим важную аналогию между понятиями геометрии и теории информации, представленную в таблице 3.1.



Таблица 3.1 - Аналогия между геометрией и теорией информации

№	Геометрия		Теория информации	
	$S^i$ – $i$ -гиперобъем	$i$ – размерность пространства	$N$ – количество элементов в множестве	$i$ – количество информации (по Хартли)
1	2	1	2	1
2	4	2	4	2
3	8	3	8	3
4	16	4	16	4
5	32	5	32	5
6	64	6	64	6
7	128	7	128	7
8	256	8	256	8
...	...	...	...	...
$i$	$S^i = 2^i$	$i = \text{Log}_2 S^i$	$N = 2^i$	$i = \text{Log}_2 N$

Отметим также, что известна [21, 22] так называемая "фрактальная размерность"  $d_1$  (4), которую часто называют **информационной размерностью**, т.к. она показывает, какое количество информации необходимо для определения местоположения точки в многомерном пространстве.

$$d_1 = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i(\varepsilon) \ln p_i(\varepsilon)}{\ln \varepsilon} \quad (3.5)$$

В выражении (2.4) обозначено:

$\varepsilon \ll 1$  – сторона гиперкубической ячейки  $i$ -пространства объемом:  $\varepsilon^{d_1}$ ;

$N(\varepsilon)$  – количество занятых ячеек, в которых содержится хотя бы одна точка;

$p_i(\varepsilon) = \lim_{N(\varepsilon) \rightarrow \infty} \frac{n_i(\varepsilon)}{N(\varepsilon)}$  – вероятность того, что некоторая точка содержится в

$i$ -й ячейке, при этом:  $\sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i(\varepsilon) = 1$ ;

$n_i(\varepsilon)$  – количество точек в  $i$ -й ячейке.

Из данных таблицы 3.1 и выражения (3.5) видно, что Хаусдорфа размерность пространства и информационная размерность соотносятся как комбинаторная мера Хартли для количества информации и статистическая мера информации Шеннона для неравновероятных событий.

Основываясь на этой существенной аналогии, можно сделать некоторые **выводы** и **предположения**, в том числе об информационных свойствах пространства и перемещающихся в них объектах.

1. **Размерность пространства можно определить как его информационную емкость.**

2. Поскольку информация связана с энтропией: численно равна ей,

но имеет противоположный знак, то можно предположить, что *чем выше размерность пространства, тем выше его антиэнтропийные свойства.*

### 3. Энтропия связана с энергией:

– при сообщении энергии системе ее энтропия повышается, и уровень системности (организованности) уменьшается (вплоть до распада структуры системы), а при передаче энергии от системы (охлаждение) ее энтропия уменьшается, и уровень системности (организованности) возрастает;

– в замкнутых системах вектор потока энергии всегда направлен в сторону уменьшения ее плотности (закон возрастания энтропии);

– физические объекты представляют собой сложные *системы*, различные структурные уровни организации которых локализуются в пространствах различных размерностей: более глубокие (высокие) и фундаментальные (сущностные) структурные уровни локализуются в пространствах больших размерностей, а менее фундаментальные, внешние уровни (форма) – в пространствах меньших размерностей;

– объекты представляют собой каналы информационного и энергетического взаимодействия тех структурных уровней организации материи, на которых они локализованы (отличаются от окружающей среды), при этом при передаче информации осуществляется преобразование языковой формы ее представления;

– поток информации в объектах направлен из пространств высшей размерности в пространства низшей размерности, от сущности к форме, что придает антиэнтропийные свойства форме и позволяет ей сохранять устойчивость во внешней среде;

– одни объекты взаимодействуют с помощью других объектов (подобъектов), при этом подобъекты являются квантами поля, с помощью которого осуществляется взаимодействие объектов, а объекты – источниками этого поля (зарядами); заряды всегда локализуются в пространстве с меньшей размерностью, чем порождаемое ими поле, с помощью которого они взаимодействуют.

Любой объект, в т.ч. человек, является системой, которую можно представить себе в качестве *i*-точки некоторого *i*-пространства, причем не только абстрактного (фазового, семантического или иного), но и вполне "физического", в смысле реально "объективно" существующего.

Развитие любого объекта, в т.ч. человека, можно представить себе как движение в некотором пространстве, которое осуществляется путем чередования состояний двух типов: локализованного в пространстве, но с неопределенным направлением перемещения (бифуркационное состояние), и с определенным направлением перемещения, но с неопределенной локализацией (детерминистское состояние).

Для особого класса геометрических фигур-фракталов получаются не только целые, но и *дробные* значения размерности, причем обычно *превосходящие* размерность элементов, из которых строится фрактал. Это означает, что *фрактал обладает качественно новыми эмерджентными, системными свойствами по сравнению со своими элементами, т.е.*

свойствами, которыми эти элементы не обладали, и, таким образом, является **системой** составляющих его элементов.

На этом даже может быть основано одно из определений фракталов: *фракталом называется геометрическая фигура, размерность которой превосходит размерность геометрических объектов, из которых он состоит.* На основании этого определения и вышесказанного мы можем высказать **гипотезу** о том, что *все геометрические фигуры являются фракталами*, а классические фигуры, для которых ранее считалось, что они не фракталы, также являются особым видом и *частным случаем* фракталов.

По аналогии с введенным автором понятием "антисистемы" [166], можно предложить и определение "антифрактала": *это геометрическая фигура, размерность которой меньше размерности геометрических объектов, из которых он состоит.*

Остается лишь добавить, что, по-видимому, классическая геометрия от Евклида до Римана изучает геометрические фигуры, размерность которых *строго равна* размерности геометрических объектов, из которых они состоят, т.е. фигуры, являющиеся не системами, а множествами. Однако *множество является частным случаем системы* [166]. Это означает, что в рамках классической геометрии все виды *i*-мерных точек "по умолчанию" *ошибочно* считались 0-точками, т.е. точками нулевой размерности, но обнаружить это возможно только в рамках более общей *системной геометрии*, являющейся системным обобщением классической геометрии. Это наводит на мысль о том, что, по-видимому, *фрактальная геометрия является одним из первых разработанных разделов системной геометрии.* В этой связи можно высказать геометрическую гипотезу о том, что *геометрические фигуры классической геометрии являются фракталами с одним уровнем самоподобия, состоящими из системных точек, подобных фигуре в целом и той же размерности: "точка" – "фигура-в-целом" (по Дж. Хатчинсону).* Это определение по смыслу совпадает с определением так называемой "истинной бесконечности" Г.В.Ф. Гегеля, согласно которому *истинно бесконечной является система, подобная каждой своей части.* Подобные системы, по Шеннону, обладают максимальной взаимной информацией и минимальной энтропией, к подобным системам относятся и фракталы (Дж. Хатчинсон), и живые организмы, состоящие из клеток, в каждой из которых находится полный геном, содержащий информацию о всем организме. Возможно, даже во Вселенной нет ни одного объекта, не являющегося истинно-бесконечным и не содержащего в своей сущности полной информации о всей Вселенной. Поэтому древние утверждали равенство или даже тождество "микро- и макрокосма".

Бенуа Мандельброт в своей основополагающей работе<sup>6</sup> пишет, что *"размерность есть локальное свойство пространства"*, т.е. она может изменяться от точки к точке, как кривизна. В связи с этим возникает

---

<sup>6</sup> Мандельброт Бенуа. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002, – 656 с.

**физическая гипотеза** о том, что, возможно, наше физическое пространство имеет размерность, *не точно* равную 3, а просто очень близкую к 3, причем эта размерность (и *статистическое распределение  $i$ -мерных точек – систем разного типа*) в принципе может изменяться с течением времени в разных областях пространства в зависимости от тех или иных физических условий, и совершенно не обязательно связанных только с гравитацией и гравитационной массой (вдруг, например, окажется, что размерность пространства изменяется во время ударов молний, землетрясений, ядерных взрывов, вблизи торнадо, а также в аномальных зонах). В этой связи возникает **идея** о разработке метода и прецизионной **мобильной** технологии измерения **текущей фактической размерности пространства** в различных его точках, и, если такая технология будет создана, то, возможно, также и о создании **службы мониторинга и прогнозирования динамики размерности пространства**. Соответственно можно ввести понятие «Поле размерности» и попытаться понять от чего зависит локальная размерность реального физического пространства. Мы уже не говорим о том, какие возможные перспективы открываются, если удастся теоретически найти и практически реализовать способы управления размерностью пространства.

Выше уже отмечалось, что смысл размерности пространства состоит в том, что она количественно показывает на сколько быстро возрастает "содержимое" тела при увеличении его линейных размеров или при уменьшении линейных размеров объектов, "заполняющих" тело. В рамках системной теории информации автором получены выражения для коэффициентов эмерджентности Хартли и Харкевича [1, 1–20], названные так автором в честь этих выдающихся ученых:

$$\varphi = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\log_2 W} \quad (3.6)$$

где  $W$  – количество чистых (классических) состояний системы, т.е. количество базисных элементов;

$\varphi$  – коэффициент эмерджентности Хартли (уровень системной организации объекта, имеющего  $W$  чистых состояний).

Непосредственно из вида выражения для коэффициента эмерджентности Хартли (3.5) ясно, что он представляет собой относительное превышение количества информации в системе при учете системных эффектов (смешанных состояний, иерархической структуры ее под-систем и т.п.) над количеством информации без учета системности, т.е. этот коэффициент отражает уровень системности объекта.

Таким образом, коэффициент эмерджентности Хартли отражает уровень системности объекта и изменяется от 1 (системность минимальна, т.е. отсутствует) до  $W/\log_2 W$  (системность максимальна). Очевидно, для каждого количества базисных элементов системы существует свой максимальный уровень системности, который

никогда реально не достигается из-за действия **правил запрета** на реализацию в системе ряда подсистем различных уровней иерархии. Таким образом, коэффициент эмерджентности Хартли дает верхнюю оценку уровня системности  $i$ -точки из  $W$  базисных элементов.

Из сравнения **коэффициент эмерджентности Хартли** (3.6) с мерой Хаусдорфа (3.5) и **кубической размерностью** (3.3) видно, что **коэффициент эмерджентности Хартли, отражающий "уровень системности", можно интерпретировать как своего рода размерность системы, т.е. скорость возрастания ее системных (эмерджентных) свойств при количественном увеличении мощности базисного множества системы.**

Упрощенно можно считать, что:

– пространство 0-й размерности есть одна точка 0-й размерности, т.е. классическая точка, известная в математике (в частности в геометрии, дифференциальном и интегральном исчислении), а также в основанной на них физике;

– пространство 1-й размерности – это прямая линия, состоит из точек 1-й размерности, представляющих собой системы из 2-х точек 0-й размерности, т.е. **отрезков, имеющих** бесконечно малую длину (не нулевую);

– пространство 2-й размерности – это плоскость, состоит из точек 2-й размерности, представляющих собой системы из 3-х точек 0-й размерности, или точки 1-й размерности и точки 0-й размерности, т.е. **треугольников, имеющих** бесконечно малую площадь (не нулевую);

– пространство 3-й размерности – это пространство, состоит из точек 3-й размерности, представляющих собой системы из 4-х точек 0-й размерности, или точки 3-й размерности и точки 0-й размерности т.е. **тетраэдров, имеющих** бесконечно малый объем (не нулевой);

.....

– пространство  $i$ -й размерности состоит из точек  $i$ -й размерности, представляющих собой системы из  $(i+1)$ -х точек 0-й размерности, или точки  $i$ -й размерности и точки 0-й размерности, т.е.  $i$ -мерных **симплексов, имеющих** бесконечно малый  $i$ -гиперобъем ( $i$ -мера:  $S^i$ ) (не нулевую).

**В заключение** хотелось бы подчеркнуть, что все предложенные в данной работе мысли и положения высказываются **исключительно** в порядке обсуждения и ни в коей мере не претендуют на какую-либо полноту и завершенность.

Дальнейшее изложение основано на работе [191], нумерация формул, рисунков и таблиц сохранены.

**Задача 4: предложить способы аналитического описания (задания) подсистем, как элементов системы.**

Для решения данной задачи необходимо найти способ представления в виде аналитической функции системы из  $(i+1)$  0-мерных точек, произвольным образом расположенных в  $i$ -мерном пространстве. Предлагается представить эту систему точек в виде пространственных аппроксимирующих функций, **вейвлетов и/или сплайнов** в **многомерном** пространстве.

В геометрии существует один принципиальный вопрос, который, насколько известно, в явной форме не задавался: *"Каким образом получается так, что из точек нулевой размерности, не обладающих никакими свойствами, образуются геометрические объекты, обладающие целым набором геометрических (и даже физических, как в теории гравитации А. Эйнштейна) свойств, таких как размерность, длина, площадь, объем, кривизна, кручение и т.д.?"*

Предлагается следующий ответ на этот вопрос, основанный на программной идее системного обобщения математики: *необходимо ввести понятие геометрической системы и признать, что новые свойства геометрических систем, отсутствующие у элементов, из которых они состоят, являются системными или эмерджентными свойствами, которые образуются за счет взаимосвязей между элементами этих систем. Фактически все исследуемые в геометрии объекты, называемые по-разному: "геометрическим местом точек", "многообразием" и т.д., в действительности являются геометрическими системами.*

По мере усложнения кривых у них, соответственно, повышается уровень системности и появляются все новые и новые системные (эмерджентные) свойства: если прямая линия обладает только одним новым свойством: **размерностью**, которого не было у составляющих ее точек 0-вой размерности, то **плоская кривая**, т.е. кривая, полностью лежащая в плоскости, кроме того, обладает и **кривизной**, а **пространственные кривые** обладают еще и **кручением**.

Аналитически подобные кривые описываются и исследуются в дифференциальной геометрии и топологии с помощью векторного и тензорного анализа. Это описание может быть довольно сложным, поэтому в данной работе предлагается использовать **параметрическое задание пространственных кривых через их проекции на координатные плоскости многомерного пространства**. При обсуждении данной задачи для простоты будем предполагать, что это *ортонормированное пространство с евклидовой метрикой*. В общем случае если кривая однозначно задается системой из  $(i+1)$  0-мерных точек, произвольным образом расположенных в  $i$ -мерном пространстве, для ее однозначного представления требуется  $i$  взаимно-ортогональных (координатных) плоскостей, на которые она проектируется. Сами же эти плоские проекции пространственной кривой можно аппроксимировать различными функциями, но мы предлагаем использовать для этого **степенные полиномы различных степеней**.

Для нас именно этот вариант аппроксимирующих функций наиболее удобен и интересен, т.к. известно, что *полином  $i$ -й степени однозначно определяется  $(i+1)$  точками на плоскости и гарантировано проходит через них, т.е. не только однозначно определяется ими, но и сам однозначно определяет их.*

В частности:

– полином 1-й степени однозначно определяется 2-мя точками 0-й размерности, *гарантировано проходит через них* и однозначно определяет аналитически точку пространства 1-й размерности, т.е. прямой линии;

– полином 2-й степени однозначно определяется 3-мя точками 0-й размерности, *гарантировано проходит через них* и однозначно определяет аналитически точку пространства 2-й размерности, т.е. плоскости;

– полином 3-й степени однозначно определяется 4-мя точками 0-й размерности, *гарантировано проходит через них* и однозначно определяет аналитически точку пространства 3-й размерности, т.е. трехмерного пространства;

– полином  $i$ -й степени однозначно определяется  $(i+1)$ -мя точками 0-й размерности, *гарантировано проходит через них* и однозначно определяет аналитически точку пространства  $i$ -й размерности.

Это и означает, что *аппроксимация проекций пространственных кривых, задаваемых системой точек в многомерном пространстве степенными полиномами, является взаимно-однозначным (т.е. полностью адекватным) способом аналитического представления этой системы точек.* Таким образом, *системе из  $(i+1)$  0-мерных точек в  $i$ -мерном пространстве аналитически соответствует система из  $i$  степенных полиномов  $i$ -й степени.* Это утверждение и предлагается считать одним из вариантов решения задачи 4.

Приведем простой и наглядный **пример**, иллюстрирующий сформулированные выше положения. В качестве систем 0-мерных точек рассмотрим обобщенные образы классов, полученные путем обобщения конкретных образов железнодорожных составов, идущих на запад и на восток (рисунок 3.4).

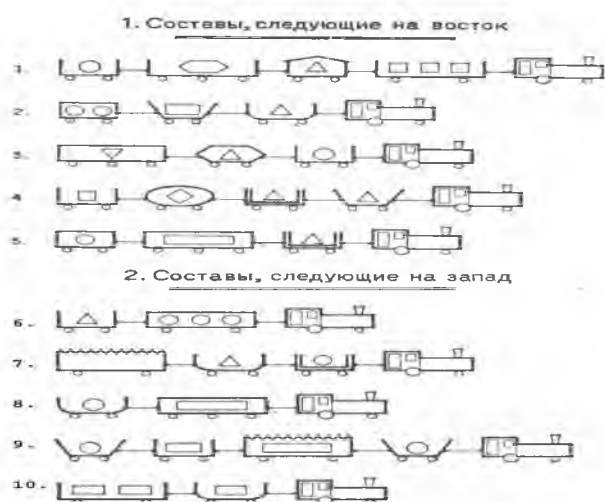


Рисунок 3.4 – Примеры поездов, идущих на запад и на восток

Используя технологию и методику применения автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ) [97], построим семантическую информационную модель (СИМ), позволяющую определить направление движения состава по его признакам. Формализация предметной области включает разработку классификационных и описательных шкал и градаций (таблица 3.2) и обучающей выборки (таблица 3.3).

Этот пример приведен в учебном пособии [98, 101] в качестве лабораторной работы №1, описание этой работы находится в свободном

общем доступе ([http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos06\\_lab/lab\\_01.htm](http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos06_lab/lab_01.htm)), поэтому здесь подробно на нем останавливаться не будем.

Классификационные шкалы и градации:

1. Состав следует на восток.
2. Состав следует на запад.

После ввода классификационных и описательных шкал и градаций, а также обучающей выборки в универсальную когнитивную аналитическую систему "Эйдос" (являющуюся программным инструментарием АСК-анализа), в результате синтеза СИМ была получена следующая матрица абсолютных частот (таблицы 3.2-3.4).

Напомним, что мы предлагаем рассматривать описательные шкалы как оси координат в многомерном неортонормированном пространстве, а градации описательных шкал – как интервальные значения, т.е. координаты на этих осях (признаки). Для того чтобы построить в многомерном пространстве кривую, соответствующую некоторому заданному классу, в качестве значений по каждой координате будем рассматривать суммарное количество встреч данного признака у объектов этого класса.

Используя графическую систему SigmaPlot for Windows Version 10.0 фирмы Systat Software Inc., построим трехмерные образы исследуемых нами классов, выбрав три описательные шкалы, отмеченные светло-зеленым цветом, и предполагая, что пространство является ортонормированным. Последнее предположение в общем случае не выполняется (как и нашем примере), но этим обстоятельством на данном этапе мы вынуждены пренебречь, т.к. нам неизвестны системы, позволяющие строить по координатам

Таблица 3.2 – Описательные шкалы и градации

Наименование описательной шкалы	Градация описательной шкалы		Кол-во
	Наименование	Код	
Количество вагонов в составе:	2	1	3
	3	2	4
	4	3	3
Форма вагона:	V-образная.	4	3
	Прямоугольная	5	10
	Ромбовидная	6	1
	U-образная.	7	4
	Эллипсоидная.	8	1
Длина вагона:	Короткий.	9	10
	Длинный	10	8
Количество осей вагона:	2	11	9
	3	12	4
Вид стенок вагона:	Одинарные	13	10
	Двойные	14	3
Вид крыши вагона:	Отсутствует	15	10
	Гофрированная	16	2
	Двухскатная	17	1
	Прямая (эллипсоидная)	18	6
Груз (количество и вид):	1 большой круг.	19	7
	2 маленьких круга	20	1
	3 маленьких круга	21	1
	1 квадрат	22	1
	3 квадрата.	23	1
	1 короткий прямоугольник.	24	3
	//* коротких прямоугольника	25	1



1 длинный прямоугольник	26	3
1 треугольник	27	7
1 перевернутый треугольник.	28	1
1 ромб.	29	2
1 шестиугольник	30	
Груза нет	31	1

там точек в криволинейных или косоугольных координатах многомерные объекты и проектировать их в евклидово трехмерное или двумерное пространство.

Таблица 3.3 – Обучающая выборка

№	Наименование состава	Коды класса	Коды признаков										
			3	5	5	5	5	9	9	10	10	11	11
1	Состав-1	1	11	12	13	13	13	13	15	15	15	17	19
			29	27	23								
			2	5	4	7	9	9	9	2	2	2	13
2	Состав-2	1	13	13	15	15	18	20	24	27			
			2	5	6	5	10	9	9	12	11	11	13
3	Состав-3	1	13	13	18	18	15	28	27	19			
			3	5	8	5	4	9	9	9	9	13	13
4	Состав-4	1	13	14	15	15	15	18	22	29	27	27	11
			11	11	11								
			2	5	5	5	9	9	10	11	11	12	13
5	Состав-5	1	13	14	18	18	15	19	26	27			
			1	5	5	9	10	11	11	13	13	15	18
6	Состав-6	2	27	21									
			2	5	5	7	10	9	9	11	11	11	13
7	Состав-7	2	13	14	16	15	15	31	27	19			
			1	7	5	9	10	11	12	19	26	15	18
8	Состав-8	2	13	13									
			3	4	4	5	5	9	9	9	10	11	11
9	Состав-9	2	11	11	13	13	13	13	15	15	15	16	19
			24	26	19								
			1	5	7	9	10	11	11	13	13	15	15
10	Состав-10	2	25	24									

Для построения графиков в системе SigmaPlot выполним подготовку исходных данных, выполнив следующие операции:

1. Выберем 3 описательные шкалы: форма вагона; вид крыши вагона и груз (количество и вид), в каждой из которых не менее 4-х градаций, что достаточно для получения наглядной кривой.

2. Система SigmaPlot предъявляет требование, чтобы по всем осям было *равное* количество координат, т.к. точка в многомерном пространстве задается координатами по *всем* осям. Однако в наших данных это требование не выполняется. Всего существует два варианта решить эту проблему: дополнить нулями недостающие координаты, ограничиться по всем осям тем количеством координат, которое в оси с минимальным их количеством. Мы выбираем второй вариант и оставляем по каждой из осей

по 4 координаты, как в оси "Вид крыши вагона", в которой их минимальное количество.

3. Для большей наглядности перед построением графиков градации по каждой шкале *рассортируем* в порядке возрастания их значений для одного из классов (по каждой оси координат они могут быть оставлены в исходном порядке либо рассортированы в порядке возрастания или убывания).

Таблица 3.4 – Матрица абсолютных частот

Наименование описательной шкалы	Градация описательной шкалы		Наименования и коды классов (градаций классификационных шкал)		Кол-во
	Наименование	Код	Состав следует на восток	Состав следует на запад	
Количество вагонов в составе:	2	1	0	3	3
	3	2	3	1	4
	4	3	2	1	3
Форма вагона:	V-образная.	4	2	1	3
	Прямоугольная	5	5	5	10
	Ромбовидная	6	1	0	1
	U-образная.	7	1	3	4
	Эллипсоидная.	8	1	0	1
Длина вагона:	Короткий.	9	5	5	10
	Длинный	10	3	5	8
Количество осей вагона:	2	11	4	5	9
	3	12	3	1	4
Вид стенок вагона:	Одинарные	13	5	5	10
	Двойные	14	2	1	3
Вид крыши вагона:	Отсутствует	15	5	5	10
	Гофрированная	16	0	2	2
	Двухскатная	17	1	0	1
	Прямая (эллипсоидная)	18	4	2	6
Груз (количество и вид):	1 большой круг.	19	3	4	7
	2 маленьких круга	20	1	0	1
	3 маленьких круга	21	0	1	1
	1 квадрат	22	1	0	1
	3 квадрата.	23	1	0	1
	1 короткий прямоугольник.	24	1	2	3
	2 коротких прямоугольника	25	0	1	1
	1 длинный прямоугольник	26	1	2	3
	1 треугольник	27	5	2	7
	1 перевернутый треугольник.	28	1	0	1
	1 ромб.	29	2	0	2
	1 шестиугольник	30	0	0	0
	Груза нет	31	0	1	1

В результате получим исходную таблицу данных для построения графиков в системе SigmaPlot (таблица 3.5) и сами графики (рисунок 3.5).

Рассмотрим проекции этих пространственных кривых на координатные плоскости и аппроксимации этих проекций степенными полиномами. На основе данных таблицы 3.5 получим сочетания координат для точек проекций кривых, соответствующих поездам, следующим на восток и на

запад, на координатные плоскости XY, XZ и YZ (таблица 3.6), а затем построим график проекции YZ и его аппроксимацию полиномом 3-й степени (рисунок 3.6).

Таблица 3.5 – Данные матрицы абсолютных частот для построения графиков в системе SigmaPlot

Ось	Наименование описательной шкалы	Градация описательной шкалы		Наименования и коды классов (градаций классификационных шкал)		Кол-во
		Наименование	Код	Состав следует на восток	Состав следует на запад	
X	Форма вагона	U-образная.	7	1	3	4
		Эллипсоидная.	8	1	0	1
		V-образная.	4	2	1	3
		Прямоугольная	5	5	5	10
Y	Вид крыши вагона	Гофрированная	16	0	2	2
		Двухскатная	17	1	0	1
		Прямая (эллипсоидная)	18	4	2	6
		Отсутствует	15	5	5	10
Z	Груз (количество и вид)	1 перевернутый треугольник.	28	1	0	1
		1 ромб.	29	2	0	2
		1 большой круг.	19	3	4	7
		1 треугольник	27	5	2	7

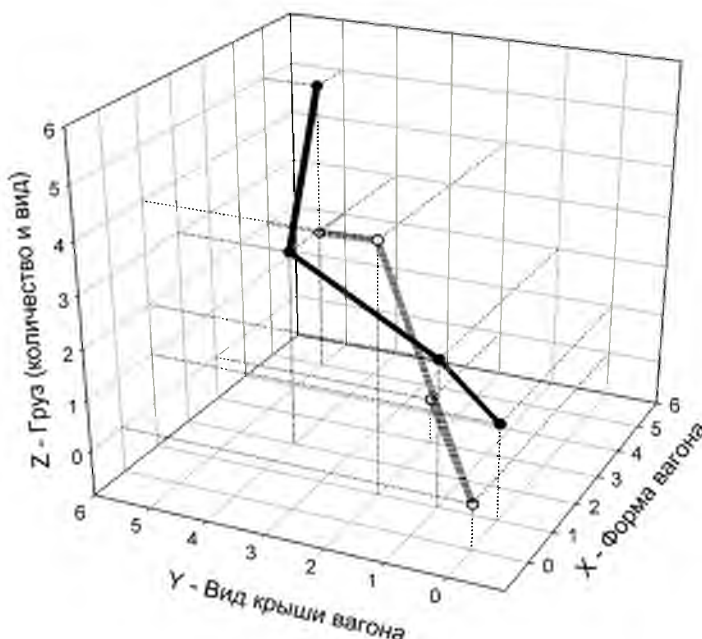


Рисунок 2.5 – Отображение фрагмента семантического пространства с образами составов, следующих на восток (сплошная линия) и на запад (пунктир). Единица измерения по шкалам – количество встреч признака

Для примера выбрана именно данная проекция пространственной кривой класса "Поезда, следующие на восток", т.к. при выбранном способе сортировки координат по возрастанию значений она оказалась *монотонно-возрастающей по обеим координатам*, что является необходимым и

достаточным условием для возможности аппроксимации кривой именно степенным полиномом.

Таблица 2.6 – Сочетание координат для точек проекций кривых на координатные плоскости XY, XZ и YZ

		Восток	Запад	Восток XY		Запад XY		
X	Форма вагона	U-образная.	1	3	1	0	3	2
		Эллипсоидная.	1	0	1	1	0	0
		V-образная.	2	1	2	4	1	2
		Прямоугольная	5	5	5	5	5	5
				XZ		XZ		
Y	Вид крыши вагона	Гофрированная	0	2	1	1	3	0
		Двухскатная	1	0	1	2	0	0
		Прямая (эллипсоидная)	4	2	2	3	1	4
		Отсутствует	5	5	5	5	5	2
				YZ		YZ		
Z	Груз (количество и вид)	1 перевернутый треугольник.	1	0	0	1	2	0
		1 ромб.	2	0	1	2	0	0
		1 большой круг.	3	4	4	3	2	4
		1 треугольник	5	2	5	5	5	2

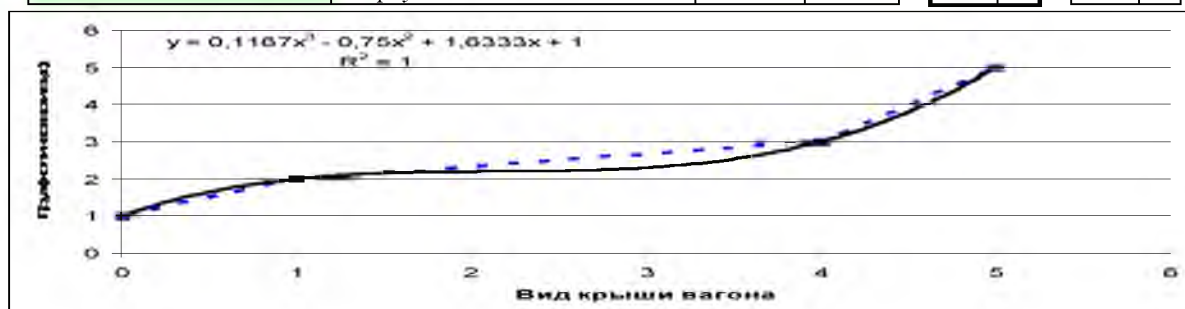


Рисунок 2.6 – Проекция пространственной кривой класса: "Поезда, следующие на восток" на координатную плоскость "YZ" (синий пунктир) и аппроксимация этой проекции полиномом 3-й степени (черная сплошная линия)

**Задача 5:** описать системное семантическое пространство для отображения систем в форме эйдосов (эйдос-пространство).

Прежде всего, отметим, что нас **не устраивает** в классическом семантическом пространстве, рассмотренном при обсуждении возможных подходов к решению предыдущей задачи.

Напомним, что в этом пространстве в качестве осей координат рассматривались описательные шкалы, в качестве координат на этих осях – градации описательных шкал (интервальные значения, признаки), а в качестве значений по каждой координате – суммарное количество встреч данного признака у объектов этого класса. При этом классическое семантическое пространство, вообще говоря (т.е. в общем случае), является многомерным неортонормированным пространством, т.к. углы между осями координат не являются прямыми, а **единицы измерения по различным осям различны**. Более того, это пространство может быть искривлено, скручено и т.п., не говоря уже о том, что его локальная фрактальная размерность может изменяться от точки к точке.

В качестве меры расстояния в этом пространстве обычно используют евклидову метрику (многомерный аналог теоремы Пифагора), как правило *совершенно забывая* при этом, что для корректного применения этой метрики необходимо, чтобы пространство было *ортонормированным*, и по всем осям использовалась бы одна и та же *единица измерения*, либо они все были безразмерными. Эти условия являются совершенно необходимыми и обязательными. Если для неортонормированного пространства существует обобщение теоремы Пифагора, и оно просто по неизвестным причинам не используется (правда более-менее простой аналитический вид это выражение имеет только для плоскости и трехмерного пространства), то *вопрос о единицах измерения по осям просто игнорируется*, т.е. не ставится и не обсуждается. Мы же напротив, обращаем на это внимание, как принципиальный вопрос [277], т.к. получается, что выбор единиц измерения сильно сказывается на результатах исследования, что некорректно.

Об этом вопросе упоминается в работе отечественных классиков системного анализа Ф.И. Перегудова и Ф.П. Тарасенко<sup>7</sup> (при рассмотрении многокритериального метода притяжения решений и формировании интегрального критерия из частных критериев). Между тем, широко известно, что *с размерностями в математических выражениях, в которые входят различные по смыслу величины, измеряемые в различных единицах измерения, нужно обращаться очень аккуратно*. Даже на уроке физики в средней школе обязательно проверяют размерности получаемых в результате решения задач величин, и если они не соответствуют смыслу этих величин и принятым для них размерностям, то *это является явным признаком ошибки в решении*. Однако в статистических системах, системах анализа данных и системах искусственного интеллекта (кроме системы "Эйдос"), почему-то совершенно не задумываясь, спокойно совершают операции сложения, вычитания и другие более сложные математические операции с величинами, имеющими *качественно различающийся* смысл и, соответственно, измеряемыми в совершенно различных единицах измерения.

Удивительно, но такой подход на практике традиционен и в нем нет ничего необычного. Например, в известной статистической системе SPSS в разделе по изучению кластерного анализа приведены обучающие примеры, в которых между собой сравниваются различные модели автомобилей. При этом признаками для сравнения этих моделей являются: количество ведущих мостов, количество цилиндров, мощность двигателя, расход топлива и т.п. параметры, измеряемые *количественно*, естественно, в *различных* единицах измерения. Затем с использованием *евклидовой меры сходства* (корректность использования которой также еще нужно обосновать) *вычисляется параметр сходства между этими моделями, строится матрица сходства*, на основе которой и проводится кластерный анализ. Ясно, что это некорректно, т.к., например, 4 ведущих колеса или 4 цилиндра будут иметь одинаковый *вес* при

---

<sup>7</sup> Перегудов, Ф.И. Введение в системный анализ: Учебное пособие / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высшая школа, 1997. – 389 с.

определении сходства моделей, а мощность 80 л.с. будет иметь значение в 10 раз больше, чем расход топлива 8 литров на 100 километров. В исходной матрице данных в системе SPSS просто используются *безразмерные* количественные величины, т.е. числа, и даже не предусмотрено места для ввода единиц измерения. *Но эти же величины в действительности не являются безразмерными, а лишь используются как безразмерные!* Это примерно, как сложить 4 крокодила с 8 бегемотами и разделить затем на 6 секунд, за которые какой-то автомобиль разгоняется до 100 км/час, и получить в результате 2. Конечно, числа 4 и 5 формально сложатся и разделятся на 6, в результате получится 2, но **чего именно** 2, и какой **смысл** в выполнении подобных математических операций? Даже если величины измеряются в сходных по смыслу единицах измерения, то все равно перед выполнением с ними арифметических операций нужно привести их к одной общей единице измерения, например, если сложить 5 метров и 5 сантиметров, то будет не 10, а 5,05 метра или 505 сантиметров. Ясно, что и результаты измерения расстояний между объектами будет самым непосредственным образом зависеть от единиц измерения, с помощью которых, фактически, можно как угодно произвольно манипулировать этими расстояниями, чем многие с энтузиазмом и пользуются, что по сути превращает программу из инструмента исследования в программу для подбора нужных результатов.

Конечно, это совершенно не означает, что режим кластерного анализа системы SPSS невозможно использовать корректно. Для этого достаточно в матрицу исходных данных кластерного анализа ввести либо безразмерные (например, *стандартизированные*) величины, либо величины, приведенные к одной размерности, например, можно вычислить, как влияет тот или иной размерный параметр модели автомобиля на его цену, и *вводить не сам этот параметр, а его влияние на цену автомобиля* (например, в какой-либо валюте в индексированных ценах). Аналогично можно изучать влияние различных факторов на продолжительность жизни, *вводя для исследования не сами значения этих факторов, а их влияние на эту продолжительность (например, в годах)*. При этом сами параметры или факторы могут измеряться в самых различных единицах измерения, например, количество сигарет, выкуренных за день, количество метров, пройденных пешком, количество минут, потраченных на утреннюю зарядку и т.п., но все это, в каких бы единицах измерения оно не измерялось, прибавляет или отнимает какие-то *минуты* нашей жизни. Проблема только в том, что это нужно понимать и делать самому, а система своими странными примерами провоцирует пользователей на некорректное применение.

Таким образом, мы считаем необходимым использовать для моделирования реальности не классическое семантическое пространство, а другое пространство (назовем его **системным семантическим пространством** или кратко **эйдос-пространством**), которое характеризуется следующими свойствами:

1. В качестве осей координат используются конструкты, т.е. понятия, имеющие смысловые полюса и спектр промежуточных смысловых значений с количественной или порядковой шкалой смыслового сходства и различия между ними. *По всем осям координат используется одна и та же единица измерения.*

2. Величины или значения координат выражаются количественными величинами, имеющими один и тот же смысл не только для одной оси, но и для всех осей координат, т.е. *всего эйдос-пространства.*

3. **Значения** координат несут информацию не только о положении точки в этом пространстве, но и о **степени принадлежности** этой точки к многомерному объекту, соответствующему обобщенному образу класса (будем называть этот образ "эйдос" (от греч. εἶδος – вид, образ) – **идея, понятие, образ**). Координаты образов классов в эйдос-пространстве – информативности, рассчитываемые согласно системной теории информации [97, 93-280]. Более того, эти значения координат являются величинами, учитывающими *системный эффект* взаимодействия *всех классов* в эйдос-пространстве *со всеми* градациями описательных шкал (поэтому для математической модели системы "Эйдос" и был предложен термин "нелокальная нейронная сеть" [138]), в отличие от классических нейронных сетей с обратным распространением ошибки. Предлагается считать координаты точек в эйдос-пространстве **компонентами** *i*-мерных **когнитивных чисел** [166], по аналогии с действительными числами (1-мерными), комплексными числами (2-мерными), кватернионами (3-мерными).

4. Интегральный критерий сходства образа конкретного объекта с классом, классов друг с другом, значений факторов друг с другом, т.е. метрика или "информационное расстояние" – свертка или скалярное произведение векторов классов или объекта и класса [1–20, 9, 10], величина, которую **корректно** использовать в случае **неортонормированного** пространства (в общем случае эйдос-пространство неортонормированно), так как:

а) сами *величины* информативностей (см. п.3) учитывают *углы* между описательными шкалами (если угол между двумя описательными шкалами равен 0, то информативности градаций этих шкал уменьшаются в два раза),

б) свертка в координатной форме, по сути, является просто *суммой* информативностей тех признаков, которые есть у конкретного объекта, и математически *никак не связана* с предположением об ортонормированности или неортонормированности эйдос-пространства.

5. Это эйдос-пространство является, вообще говоря, многомерным неортонормированным пространством с неевклидовой метрикой.

Мы осознаем мир, используя эйдос-пространство, а детально исследуем модели объектов внутреннего и внешнего мира, сформированные в этом пространстве, изучая их **проекции** на координатные плоскости, а чаще на оси координат, т.е. конструкты. Так, что мы действительно осознаем не сам мир, а лишь проекции его объектов, подобные теням на стенах **пещеры**



**Платона**, причем в действительности эти тени даже не от самих объектов, а лишь от их **моделей** в нашем сознании (т.к. мы осознаем не непосредственно сами объекты "какие они есть на самом деле, т.е. сами по себе" (еще вопрос, возможно ли это хотя бы в принципе), а лишь отражения этих объектов в нашем сознании).

Продолжим изучение примера, который мы рассматривали при обсуждении предыдущей задачи. В таблице 3.7 приведено количество информации, рассчитанное согласно системной теории информации [97], которое содержится в градациях описательных шкал (признаках) о принадлежности конкретных объектов, обладающих этими признаками, к обобщенным классам: "Состав, следующий на восток", "Состав, следующий на запад".

Далее выберем из таблицы 3.6 только те информативности, которые соответствуют градациям описательных шкал, рассмотренных в предыдущей задаче (для обеспечения сопоставимости), и в результате получим таблицу 2.7 и ее графическое отображение на рисунке 3.7.

Для примера выбраны именно проекции пространственной кривой (эйдоса) класса **"Поезда, следующие на восток"**, т.к. при выбранном способе сортировки координат по возрастанию значений они оказались *монотонно-возрастающими по обеим координатам*, что является необходимым и достаточным условием для возможности аппроксимации кривой степенным полиномом. Отметим, что для аппроксимации *всех* проекций эйдосов на координатные плоскости с коэффициентом детерминации  $R^2=1$  (т.е. с нулевой погрешностью) оказалось достаточно полиномов 3-й степени.

**Задача 6: описать принцип формирования эйдосов (включая зеркальные части).**

Автоматизированный системно-когнитивный анализ (АСК-анализ) [97] представляет собой метод, технологию и методику формирования эйдосов и включает следующие этапы:

1. Когнитивная структуризация, а затем и формализация предметной области.
2. Ввод данных мониторинга в базу прецедентов (обучающую выборку) за период, в течение которого имеется необходимая информация в электронной форме.

Таблица 3.7 – Матрица информативностей (в битах)

Наименование описательной шкалы	Градация описательной шкалы		Наименования и коды классов (градаций классификационных шкал)	
	Наименование	Код	Состав следует на восток	Состав следует на запад
Количество вагонов в составе:	2	1	0,00000000	0,15333187
	3	2	0,07610294	-0,13573296
	4	3	0,05154327	-0,07574658
Форма вагона:	V-образная.	4	0,05154327	-0,07574658
	Прямоугольная	5	-0,00844310	0,00879946



	Ромбовидная	6	0,13608931	0,00000000
	U-образная.	7	-0,15297552	0,09334550
	Эллипсоидная.	8	0,13608931	0,00000000
Длина вагона:	Короткий.	9	-0,00844310	0,00879946
	Длинный	10	-0,06842948	0,05532850
Количество осей вагона:	2	11	-0,03300278	0,03076883
	3	12	0,07610294	-0,13573296
Вид стенок вагона:	Одинарные	13	-0,00844310	0,00879946
	Двойные	14	0,05154327	-0,07574658
Вид крыши вагона:	Отсутствует	15	-0,00844310	0,00879946
	Гофрированная	16	0,00000000	0,15333187
	Двухскатная	17	0,13608931	0,00000000
	Прямая (эллипсоидная)	18	0,05154327	-0,07574658
Груз (количество и вид):	1 большой круг.	19	-0,04058602	0,03664292
	2 маленьких круга	20	0,13608931	0,00000000
	3 маленьких круга	21	0,00000000	0,15333187
	1 квадрат	22	0,13608931	0,00000000
	3 квадрата.	23	0,13608931	0,00000000
	1 короткий прямоугольник.	24	-0,09298915	0,06878583
	2 коротких прямоугольника	25	0,00000000	0,15333187
	1 длинный прямоугольник	26	-0,09298915	0,06878583
	1 треугольник	27	0,06592940	-0,10788950
	1 перевернутый треугольник.	28	0,13608931	0,00000000
	1 ромб.	29	0,13608931	0,00000000
	1 шестиугольник	30	0,00000000	0,00000000
	Груза нет	31	0,00000000	0,15333187

3. Синтез семантической информационной модели (СИМ).
4. Оптимизация СИМ.
5. Проверка адекватности СИМ (измерение внутренней и внешней, дифференциальной и интегральной валидности).
6. Анализ СИМ.
7. Решение задач идентификации состояний объекта управления, прогнозирования и поддержки принятия управленческих решений по управлению с применением СИМ.

Таблица 2.8 – Данные из матрицы информативностей для построения графиков в системе SIGMAPLOT

Ось	Наименование описательной шкалы	Градации описательной шкалы		Наименования и коды классов (градаций классификационных шкал)	
		Наименование	Код	Состав следует на восток	Состав следует на запад
X	Форма вагона	U-образная.	7	-0,15297552	0,09334550
		Прямоугольная	5	-0,00844310	0,00879946
		V-образная.	4	0,05154327	-0,07574658
		Эллипсоидная.	8	0,13608931	0,00000000
Y	Вид крыши вагона	Отсутствует	15	-0,00844310	0,00879946
		Гофрированная	16	0,00000000	0,15333187

		Прямая (эллипсоидная)	18	0,05154327	-0,07574658
		Двухскатная	17	0,13608931	0,00000000
Z	Груз (количество и вид)	1 большой круг.	19	-0,04058602	0,03664292
		1 треугольник	27	0,06592940	-0,10788950
		1 перевернутый треугольник.	28	0,13608931	0,00000000
		1 ромб.	29	0,13608931	0,00000000

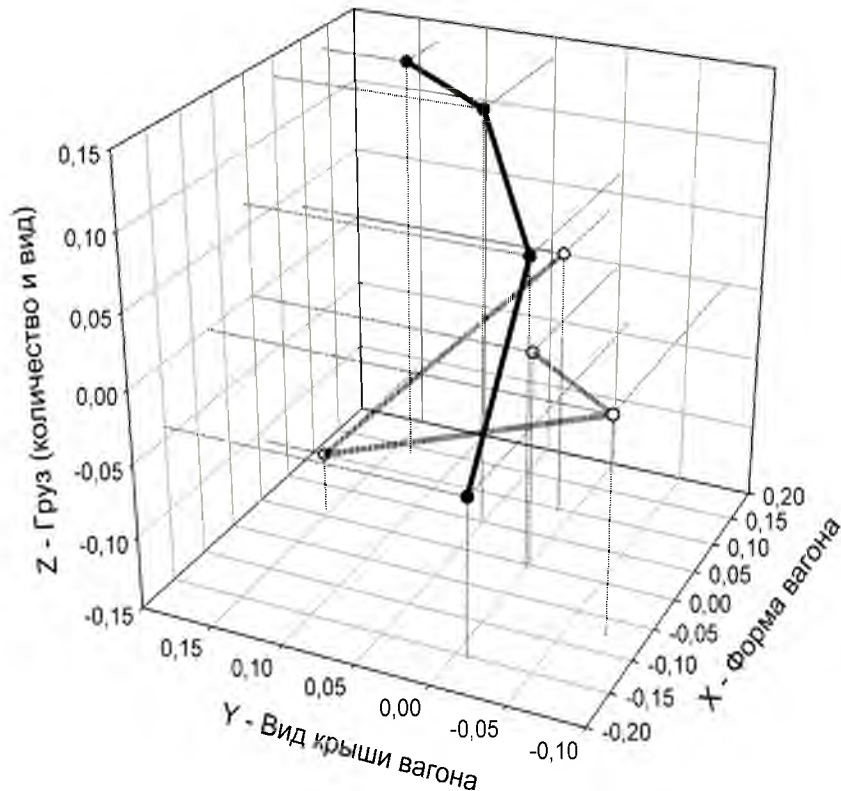


Рисунок 2.7 – Отображение фрагмента системного семантического пространства (эйдос-пространства) с образами составов, следующих на восток (сплошная линия) и на запад (пунктир). Единица измерения по шкалам – биты

Таблица 2.9 – Сочетания координат для проекций кривых из эйдос-пространства на координатные плоскости XY, XZ и YZ

		сток	Запад	Восток	Запад			
X	Форма вагона	U-образная.	-0,153	0,093	Запад XY			
		Прямоугольная	-0,008	0,009	XY			
		V-образная.	0,052	-0,076	0,093	0,009		
		Эллипсоидная.	0,136	0,000	-0,153	-0,008	0,009	0,153
Y	Вид крыши вагона	Отсутствует	-0,008	0,009	0,052	0,052	-0,076	-0,076
		Гофрированная	0,000	0,153	0,136	0,136	0,000	0,000
		Прямая (эллипсоидная)	0,052	-0,076	-0,153	-0,041	0,093	0,037
		Двухскатная	0,136	0,000	-0,008	0,066	0,009	-0,108
Z	Груз (количество и вид)	1 большой круг.	-0,041	0,037	0,052	0,136	-0,076	0,000
		1 треугольник	0,066	-0,108	0,136	0,136	0,000	0,000
		1 перевернутый треугольник.	0,136	0,000	0,052	0,136	-0,076	0,000
		1 ромб.	0,136	0,000	0,136	0,136	0,000	0,000

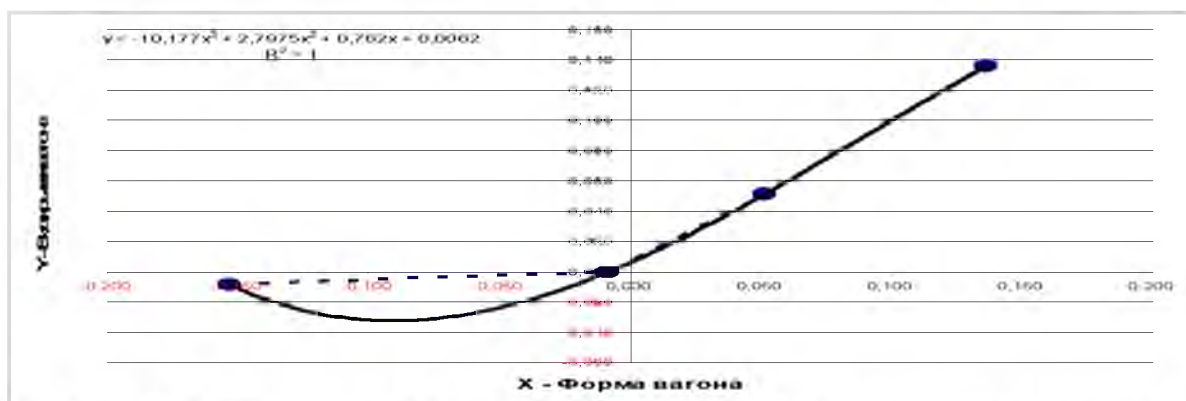


Рисунок 2.8 – Проекция эйдоса (класса): "Поезда, следующие на восток" на координатную плоскость "XY" (синий пунктир) и аппроксимация этой проекции полиномом 3-й степени (черная сплошная линия)

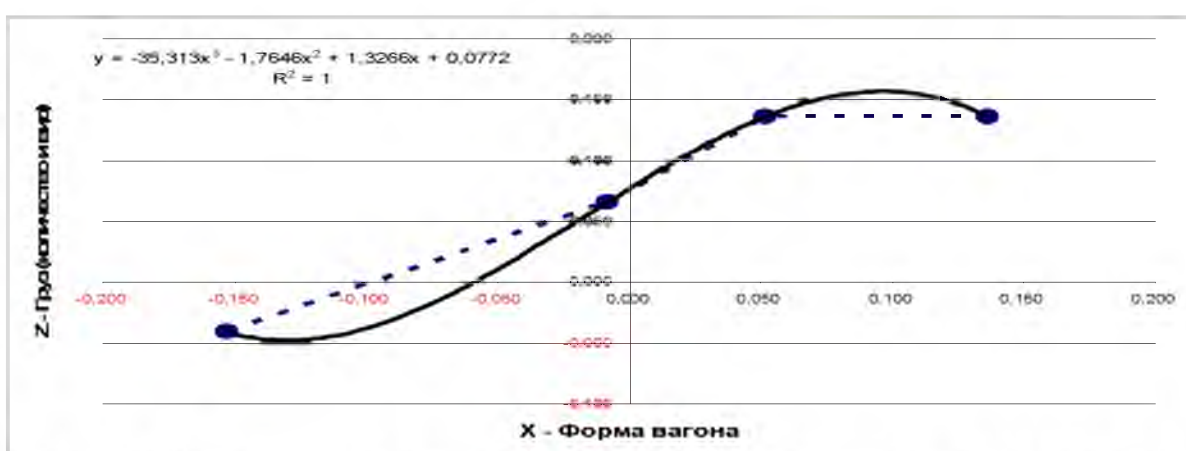


Рисунок 2.9 – Проекция эйдоса (класса): "Поезда, следующие на восток" на координатную плоскость "XZ" (синий пунктир) и аппроксимация этой проекции полиномом 3-й степени (черная сплошная линия)

На первых двух этапах АСК-анализа, детально рассмотренных в работах [9, 10], числовые величины сводятся к интервальным оценкам, как и информация об объектах нечисловой природы (фактах, событиях). Этот этап реализуется и в методах интервальной статистики.

На третьем этапе СК-анализа всем этим величинам (по единой методике, основанной на системном обобщении семантической теории информации А. Харкевича) сопоставляются количественные величины, с которыми в дальнейшем и производятся все операции моделирования.

Обобщенный образ класса (эйдос) представляет собой элемент определенного уровня иерархии системы, т.е. множество, в котором в качестве элементов-признаков выступают элементы предыдущего уровня иерархии системы.

Информационный портрет класса представляет собой список признаков этого класса, ранжированный в порядке убывания количества информации, содержащейся в этих признаках о принадлежности к данному классу. Этот информационный портрет может быть разделен на две части:

- позитивную: с положительными информативностями (эйдос), и

- негативную: с отрицательными информативностями (антиэйдос). Эйдос и антиэйдос представляют собой как бы *зеркальные* части информационного портрета.

Значения координат точки, входящей в эйдос, равны количеству информации в соответствующем признаке (градации описательной шкалы) о принадлежности конкретного обладающего этим признаком объекта к обобщенному образу класса (градации классификационной шкалы).

Если классические координаты точки в семантическом пространстве несут информацию только о положении точки в пространстве и все, то системные координаты точки в эйдос-пространстве, кроме этого, несут также и информацию о принадлежности объекта, в который входит данная точка, к эйдосу (обобщенному образу класса), т.е. к системе точек.

Подробнее задачу № 6 рассматривать в данной работе нецелесообразно, т.к. она неоднократно реализовалась в ряде приложений и исследований, проведенных по технологии АСК-анализа, о которых имеются многочисленные общедоступные публикации, в частности, размещенные по Internet-адресам:

– <http://ej.kubagro.ru/a/viewaut.asp?id=11>;

– <http://lc.kubagro.ru/aidos/Eidos.htm>.

**Задача 7: показать, что базовая когнитивная концепция [97] формализуется многослойной системой эйдос-пространств.**

Из базовой когнитивной концепции, предложенной в работе [97], следует иерархическая структура процесса познания (таблица 3.10).

При этом на разных уровнях иерархии системы познания элементами являются: признаки, а системами – образы конкретных объектов, описан

Таблица 2.10 – Иерархическая структура процесса познания

Уровень иерархии процесса познания	Элемент	Действие с элементами	Система
1	признаки	синтез	образы конкретных объектов
2	признаки, образы конкретных объектов	обобщение, многопараметрическая типизация	обобщенные образы классов
3	классы	нахождение наиболее сходных, обобщение	кластеры
4	кластеры	нахождение наиболее отличающихся	конструкты
5	конструкты	синтез	действующая парадигма предметной области

ные системами признаков по 2, 3 и т.д., а на других элементами выступают уже конкретные образы, а системами – обобщенные образы классов, которые, в свою очередь, являются элементами систем-кластеров, а они – элементами систем-конструктов, система конструктов образует парадигму. В 1996 году в работе [94], а затем в работе [138] автором была предложена идея создания подобных многоуровневых моделей в АСК-анализе. В последующем в ряде работ автора с соавторами [102, 154, 99] и других были созданы и исследованы подобные многоуровневые модели,

каждый из уровней которых формализуется эйдос-пространством определенной размерности.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что базовая когнитивная концепция и реализующий ее АСК-анализ формализуются многослойной системой *взаимосвязанных* эйдос-пространств. Если на 2-м уровне иерархии оси координат представляют собой описательные шкалы, градациями которых являются признаки, а обобщенные образы классов (градации классификационных шкал) представляются пространственными кривыми в эйдос-пространстве, то на 3-м уровне иерархии градациями описательных шкал являются классы, а пространственные кривые – эйдосы отображают уже кластеры.

**Задача 8: *показать, что системная теория информации позволяет непосредственно на основе эмпирических данных определять вид функций принадлежности, т.е. решать одну из основных задач теории нечетких множеств.***

В теории нечетких множеств, предложенной в 1965 году Лотфи А. Заде, *понятие множества было обобщено*, путем задания *функции принадлежности* элемента множеству, количественно задающей *степень принадлежности* элемента множеству (в классическом множестве элемент мог либо принадлежать, либо не принадлежать множеству). Было предложено несколько различных аналитических видов функций принадлежности и разработаны операции с нечеткими множествами, зависящие от вида этих априорно заданных функций.

Таким образом, в теории нечетких множеств *математическое понятие множества было обогащено свойствами*, и это несколько приблизило его к понятию "система" и позволило получить более общую теорию, чем классическая теория множеств.

Однако мы считаем, что теория нечетких множеств является лишь первым шагом и в этом направлении еще много работы. Например, ясно, что для реальных объектов, моделируемых множествами, фактический вид функции принадлежности может отличаться от ранее априорно определенных и затем аксиоматически постулированных и аналитически исследованных. Между тем именно фактический вид функции принадлежности характеризует специфику конкретного объекта исследования, и поэтому ее знание обуславливает адекватность моделирования этого объекта с помощью аппарата нечетких множеств. Поэтому возникает **проблема определения вида функции принадлежности непосредственно на основе эмпирических данных** и все значения и актуальность решения этой проблемы *общим универсальным методом* трудно переоценить. В настоящее время имеется ряд попыток найти подобный *универсальный метод и разработать технологию и методику его применения на практике*. В разделе 4.8 данной монографии приведен пример подхода, позволяющего решить эту проблему. Одной из таких попыток



является интеграция теории нечетких множеств и нейронных сетей: так называемые нечеткие нейронные сети<sup>8</sup>.

С применением **системной теории информации** (СТИ) также непосредственно на основе эмпирических данных определяется функция принадлежности элемента множеству, в частности:

- в информационном портрете определяется степень принадлежности признака классу;
- при идентификации объекта определяется степень его сходства с классами;
- при проведении кластерного анализа определяется степень сходства классов с кластерами.

На рисунке 3.10 в качестве примера приведена экранная форма системы "Эйдос", в которой показана *степень принадлежности* конкретных образов составов, описанных в обучающей выборке, к обобщенному образу класса: "Состав, следующий на запад". Таким образом, можно считать, что данный класс представляет собой нечеткое множество, включающее все составы, следующие на запад, но в разной степени. Состав-10 наиболее похож на обобщенный образ данного класса, т.е. является наиболее типичным для него, а состав-3 наименее типичным. Для составов 1, 2, 3, 4 и 5 степень принадлежности к классу "Состав, следующий на запад" отрицательна, т.е. они не относятся к этому классу в соответствии с созданной моделью.

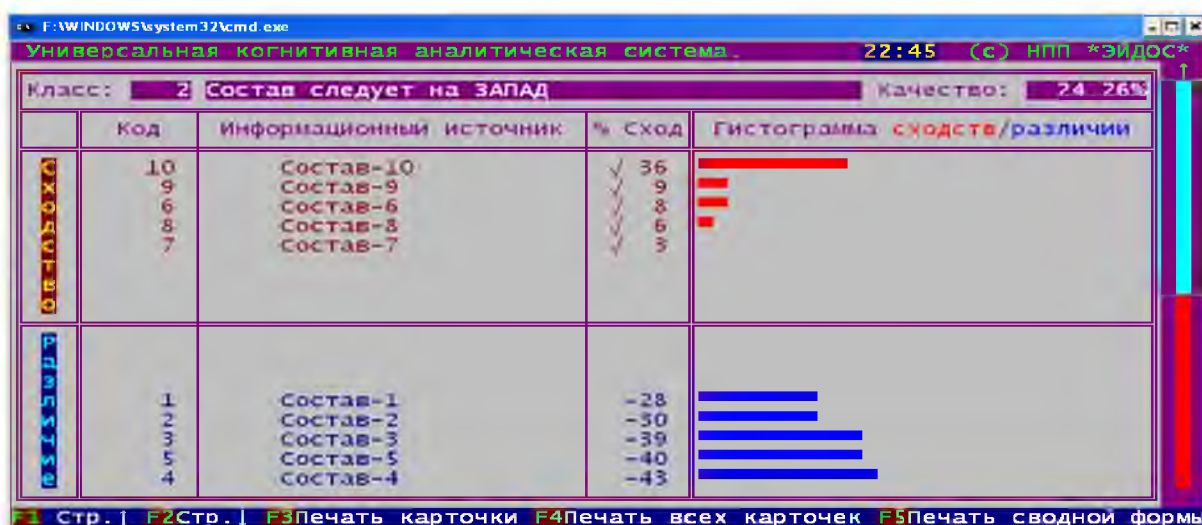


Рисунок 3.10 - Функция принадлежности конкретных образов составов обучающей выборки к обобщенному образу класса: "Состав, следующий на запад"

В таблице 3.11 приведен информационный портрет обобщенного образа класса: "Состав, следующий на запад", включая позитивную и негативную части, т.е. эйдос и антиэйдос.

<sup>8</sup> Николаев А.Б., Фоминых И.Б. Нейросетевые методы анализа и обработки данных: Учебное пособие. – М.: МАДИ (ГТУ), 2003. – 95 с. – Режим доступа: <http://www.madi.ru/study/kafedra/asu/metod/neiroseti3.rar>.

Таблица 3.11 – Информационный портрет класса распознавания:

**Код: 2 Наименование: Состав следует на ЗАПАД**  
 Позитивный и негативный портрет (эйдос и антиэйдос).  
 Фильтрации по кодам признаков нет.  
 Фильтрации по модулю информативности нет.

Код признака	Наименования описательных признаков и градаций	Информативность		
		Бит	% от теоретически максимально возможной информативности	Сумма нарастающим итогом, %
1	КОЛИЧЕСТВО ВАГОНОВ В СОСТАВЕ:			
1	2	0.153	15.33	15.3
6	ВИД КРЫШИ ВАГОНА:			
16	Гофрированная	0.153	15.33	30.7
7	ГРУЗ (КОЛИЧЕСТВО И ВИД):			
21	3 маленьких круга	0.153	15.33	46.0
7	ГРУЗ (КОЛИЧЕСТВО И ВИД):			
25	2 коротких прямоугольника	0.153	15.33	61.3
7	ГРУЗ (КОЛИЧЕСТВО И ВИД):			
31	Груза нет	0.153	15.33	76.7
2	ФОРМА ВАГОНА:			
7	U-образная.	0.093	9.33	86.0
7	ГРУЗ (КОЛИЧЕСТВО И ВИД):			
24	1 короткий прямоугольник.	0.069	6.88	92.9
7	ГРУЗ (КОЛИЧЕСТВО И ВИД):			
26	1 длинный прямоугольник	0.069	6.88	99.7
3	ДЛИНА ВАГОНА:			
10	Длинный	0.055	5.53	105.3
7	ГРУЗ (КОЛИЧЕСТВО И ВИД):			
19	1 большой круг.	0.037	3.66	108.9
4	КОЛИЧЕСТВО ОСЕЙ ВАГОНА:			
11	2	0.031	3.08	112.0
2	ФОРМА ВАГОНА:			
5	Прямоугольная	0.009	0.88	112.9
3	ДЛИНА ВАГОНА:			
9	Короткий.	0.009	0.88	113.8
5	ВИД СТЕНОК ВАГОНА:			
13	Одинарные	0.009	0.88	114.7
6	ВИД КРЫШИ ВАГОНА:			
15	Отсутствует	0.009	0.88	115.5
1	КОЛИЧЕСТВО ВАГОНОВ В СОСТАВЕ:			
3	4	-0.076	-7.57	123.1
2	ФОРМА ВАГОНА:			
4	V-образная.	-0.076	-7.57	130.7
5	ВИД СТЕНОК ВАГОНА:			
14	Двойные	-0.076	-7.57	138.2
6	ВИД КРЫШИ ВАГОНА:			
18	Прямая (эллипсоидная)	-0.076	-7.57	145.8
7	ГРУЗ (КОЛИЧЕСТВО И ВИД):			
27	1 треугольник	-0.108	-10.79	156.6
1	КОЛИЧЕСТВО ВАГОНОВ В СОСТАВЕ:			
2	3	-0.136	-13.57	170.2
4	КОЛИЧЕСТВО ОСЕЙ ВАГОНА:			
12	3	-0.136	-13.57	183.7

Фоном светло-желтого цвета в информационном портрете выделены положительные информативности, а светло-зеленого – отрицательные, соответствующие эйдосу и антиэйдосу или эйдосу и его зеркальной части.

**Информативность в битах** – это количество информации, которое мы получаем о принадлежности некоторого объекта к данному классу,

*если узнаем, что он обладает этим признаком. Как показано в базовой когнитивной концепции [97], если мы анализируем только образы конкретных объектов и никак не обобщаем их, относя к каким-то классам и называя их обобщенными именами, то не можем определить, какие признаки этих объектов являются характерными для них, а какие случайными. Например, если маленький ребенок видит различные мячи впервые и не знает, что это все мячи, то такие признаки мячей, как круглый и пустой будут для него столь же важны, как цвет и рисунок на мяче. Однако при обобщении появляется возможность определить, какие признаки являются более характерными для того или иного обобщенного класса, какие менее, а какие – вообще случайными. Это и делается в АСК-анализе на основе системной теории информации: **степень характерности признака для класса измеряется количеством информации, которое мы получаем из факта наблюдения этого признака о принадлежности к классу. Таким образом, характерные признаки в большей степени принадлежат классу, нехарактерные – менее, а случайные и принадлежащие другим классам, несходным с данным, вообще не принадлежат.** Это и означает, что системная теория информации и АСК-анализ тесно связаны с теорией нечетких множеств и даже позволяют решать некоторые важные для этой теории задачи, такие, например, как определение вида функции принадлежности непосредственно на основе эмпирических данных и использование знания вида этой функции для решения задач идентификации, прогнозирования и поддержки принятия решений.*

Процент от теоретически максимально возможной информативности – это процент, который составляет информативность в битах от теоретически максимально возможной информативности.

Теоретически-максимальная возможная информативность полностью определяется суммарным количеством градаций классификационных шкал, т.е. классов и равна количеству информации, которое мы получаем, когда достоверно узнаем, что некоторый объект принадлежит к определенному классу: это количество информации в битах равно двоичному логарифму от количества классов в семантической информационной модели (мера Хартли).

Суммарная информативность нарастающим итогом в процентах – это накопительная сумма от столбца: "Процент от теоретически максимально возможной информативности". Она показывает, насколько полно описан информационный портрет класса и есть ли в нем какая-либо избыточность описания. Если избыточность есть, т.е. суммарное количество информации в признаках, описывающих портрет, больше 100 %, то это означает, что существуют корреляции между признаками, т.е. пространство неортонормированное, если же описание неполное, то это означает, что для обеспечения полноты описания данного класса в модели необходимо увеличить размерность эйдос-пространства путем добавления в него новых, желательно, максимально независимых от уже имеющихся описательных шкал и градаций.



Во всех этих случаях определена, т.е. имеет смысл, не только положительная принадлежность, но и отрицательная. Например, отрицательная информативность признака несет информацию о *непринадлежности* конкретного объекта, обладающего этим признаком, к данному классу. Примеры определения конкретного вида функций принадлежности непосредственно на основе эмпирических данных и применения этих функций для идентификации и прогнозирования объектов в различных предметных областях можно обнаружить в работах автора по применению АСК-анализа: <http://ej.kubagro.ru/a/viewaut.asp?id=11>.

Правда, во всех этих случаях функция принадлежности в системе "Эйдос" (являющейся инструментарием АСК-анализа) задана таблично, но это не является особым ограничением, т.к. таблично-заданные функции всегда можно аппроксимировать наиболее подходящей в каком-то смысле аналитической зависимостью, например, степенными полиномами, полиномами Чебышева или Лагранжа, рядами функций различного вида, Фурье, степенными, показательными, рядами спецфункций или функций общего вида, как это принято в АСК-анализе.

**Задача 9: сформулировать перспективы: разработка операций с системами: объединение (сложение), пересечение (умножение), вычитание. Привести предварительные соображения по сложению систем.**

В качестве перспективы мы рассматриваем разработку математического формализма, обеспечивающего *операции с системами*: объединение (сложение), пересечение (умножение), вычитание.

В предварительном плане мы приведем здесь некоторые соображения по операции *сложения систем*. В отличие от сложения множеств, при сложении систем у системы-суммы появляются новые эмерджентные свойства, которых не было у систем-слагаемых. Именно эту особенность сложения систем отражает системная теория информации [97].

Элементы-подмножества системы отличаются не только количеством базисных элементов, но и тем, какие именно конкретно это базисные элементы, т.е. элементы, состоящие из *одинакового* количества базисных элементов, различаются, если различается, по крайней мере, один из этих базисных элементов.

Элементы-подсистемы, состоящие из одних и тех же базисных элементов (0-тождественные элементы), тождественны, если тождественна их *структура*, и отличаются друг от друга, если отличается их структура.

#### **Приведем примеры.**

*Лингвистические системы, в том числе естественный язык (вербализация), являются одним из наиболее мощных, точных и удачных из всех выработанных человечеством средств моделирования реальности и отражения ее в сознании. Язык имеет многие системные свойства реальности, благодаря чему он и является достаточно адекватным для физического сознания средством ее отражения.*

Поэтому в 1-м примере рассмотрим два предложения, естественно, состоящие из слов, написанных с помощью букв. Каждое предложение будем рассматривать как систему, состоящую на базисном уровне из букв, а на 1-м уровне иерархии – из слов. На 0-м уровне у них будет пересечение, состоящее из общих букв, а 1-м уровне – пересечение, состоящее из общих слов. Естественно, результаты пересечения систем на 1-м уровне будут различаться, если считать тождественными только те слова, которые полностью тождественны по всем буквам, или слова, являющиеся словоформами от одного слова. Рассмотрим два предложения (таблица 2.12).

Таблица 3.12 – Пересечение лингвистических систем на 0-м и 1-м иерархических уровнях структуры (проза)

№	Система	0-й уровень иерархии (буквы)	1-й уровень иерархии (слова)
1	У лукоморья дуб зеленый	бдзейклмно р уыья	зеленый
2	Под дубом рос зеленый лук	бдзейклмнопрсуы	зеленый

Жирным шрифтом выделены буквы, общие в обоих предложениях. Видно, что 13 букв из 17, которые используются в этих предложениях, общие для обоих предложений, тогда как из 9 слов общее (тождественно) только одно. Таким образом, пересечение этих предложений как систем на базисном уровне составляет:  $13/17 \times 100 = 76,47\%$ , а на 1-м иерархическом уровне –  $1/9 \times 100 = 11,11\%$ .

Рассмотрим более сложный 2-й пример со стихами и былинами. При этом, так же как и в 1-м примере, будем считать каждое предложение системой, состоящей на базисном уровне из букв, а на 1-м уровне иерархии – из слов и рифм. Однако в отличие от 1-го примера, будем считать тождественными словоформы одного слова, кроме того, будем учитывать рифму, которую также отнесем к 1-му уровню иерархии.

Выделим одинаковым цветом тождественные слова и рифмы:

У лукоморья **дуб** **зеленый**,  
 Златая **цепь** на **дубе** **том**:  
 И днем, и ночью кот ученый  
 Все ходит по **цепи** **кругом**

(А.С. Пушкин "Руслан и Людмила")

Представим результаты анализа пересечений предложений в виде таблиц 3.13–3.16.

Таблица 3.13 – Пересечение лингвистических систем на 0-м и 1-м уровнях иерархии в символах (стихи)

KOD	PREDL	P01	P02	P03	P04
P01	У лукоморья дуб зелен-ый	-бдзейклмноруыь	-бдзелмноуыя	-дейкмнуоуыь	-декмору
P02	Златая цепь на дубе т-ом	-бдзелмноуыя	-абдзелмнопуць	-демнотуь	-демоптуц
P03	И днем, и ночью кот учен-ый	-дейкмнуоуыь	-демнотуь	-дейкмнотучыь	-дейкмоту
P04	Все ходит по цепи круг-ом	-декмору	-демоптуц	-дейкмоту	-вгдейкмпрстух

Таблица 3.14 – Пересечение лингвистических систем на 0-м уровне иерархии в процентах (стихи)

KOD	PREDL	P01	P02	P03	P04
-----	-------	-----	-----	-----	-----

P01	У лукоморья дуб зелен-ый	100,000	70,588	75,000	56,250
P02	Златая цепь на дубе т-ом	70,588	100,000	62,500	62,500
P03	И днем, и ночью кот учен-ый	75,000	62,500	100,000	62,500
P04	Все ходит по цепи круг-ом	56,250	62,500	62,500	100,000

Таблица 3.15 – Пересечение лингвистических систем на 1-м уровнях иерархии в словоформа (стихи)

Код	PREDL	P01	P02	P03	P04
P01	У лукоморья дуб зелен-ый	дуб зелен лукоморья ый	дуб	ый	
P02	Златая цепь на дубе т-ом	дуб	дубе златая на ом цепь		ом цепи
P03	И днем, и ночью кот учен-ый	ый		днем кот ночью учен ый	
P04	Все ходит по цепи круг-ом		ом цепи		все круг ом по ходит цепи

Таблица 3.16 – Пересечение лингвистических систем на 1-м уровнях иерархии в процентах (стихи)

KOD	PREDL	P01	P02	P03	P04
P01	У лукоморья дуб зелен-ый	100,000	25,000	25,000	0,000
P02	Златая цепь на дубе т-ом	25,000	100,000	0,000	40,000
P03	И днем, и ночью кот учен-ый	25,000	0,000	100,000	0,000
P04	Все ходит по цепи круг-ом	0,000	40,000	0,000	100,000

**Примечание:** в таблицах 2.13–2.16 использован следующий *технический* прием: чтобы программа выделила *рифмы*, как структурные элементы 1-го уровня иерархии, они отделены знаком тире, используемым в качестве *разделителя*.

Рассмотрим былинный текст:

У ласкова у князя у Владимира  
 Было пированице, почестен пир,  
 Для многих князей, для бояр,  
 Для русских могучих богатырей;  
 Красное солнышко к вечеру -  
 Почестный пир идет на веселие,  
 Все на пиру пьяны - веселы,  
 Все на пиру порасхвастались:  
 Богатый хвастает золотой казной,  
 Глупый хвастает молодой женой,  
 Умный хвастает старой матерью,  
 Сильный хвастает своей силою -  
 Силою, ухваткою богатырскою;  
 За тем за столом за дубовым  
 Сидит один богатырь -  
 Ничем-то он молодец не хвастает

(Русская былина "Сухман".  
 Владимиро-Суздальский период.  
 Сер. XII - конец XIII века)

Результаты анализа пересечений предложений из этого текста представлены в таблицах 3.16–3.19.

Тожественные или сходные слова, производные от одного слова (словоформы), рифмы и повторы, особенно широко использовавшиеся в русских былинах, повышают степень пересечения предложений текста на различных иерархических уровнях его организации и, тем самым, помогают организовать между ними смысловую связь, служат смысловыми маркерами, повышают количество связей в лингвистической системе, а значит повышают ее уровень системности и легкость восприятия смысла, а также заряд нетождественности в тексте, т.е. его невербальную смысловую нагрузку. Таким образом, можно сделать вывод о том, что ***рифмы и повторы словоформ повышают уровень системности текста, вследствие чего стихи и былины можно считать более высокоорганизованной формой текста, чем проза.***

Эти результаты получены с помощью программы, исходный текст которой приведен ниже, разработанной автором при подготовке данной работы специально с целью исследования пересечений лингвистических систем на 0-м и 1-м уровнях иерархии языка программирования (xBase++ или CLIPPER 5.01+TOOLS II).

**Таблица 17 – ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА 0-М УРОВНЕ ИЕРАРХИИ В ПРОЦЕНТАХ (СТИХИ)**

KOD	PREDL	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
P01	У ласкова у князя у Владимира	100	60	73	80	67	67	67	67	60	67	60	53	67	67	53	67
P02	Было пированице почестен пир	60	100	50	75	69	88	69	75	69	69	63	69	69	63	63	75
P03	Для многих князей для бояр	73	50	100	88	44	56	44	50	69	63	50	50	56	50	50	56
P04	Для русских могучих богатырей	80	75	88	100	58	68	45	58	68	74	63	58	74	63	58	63
P05	Красное солнышко к вечеру	67	69	44	58	100	79	71	71	71	71	71	64	71	64	50	64
P06	Почестный пир идет на веселие	67	88	56	68	79	100	69	75	69	81	69	75	63	63	63	75
P07	Все на пиру пьянывеселы	67	69	44	45	71	69	100	86	57	71	71	71	64	57	57	57
P08	Все на пиру порасхвастались	67	75	50	58	71	75	86	100	67	80	80	80	73	60	60	73
P09	Богатый хвастает золотой казной	60	69	69	68	71	69	57	67	100	81	69	75	75	69	56	63
P10	Глупый хвастает молодой женой	67	69	63	74	71	81	71	80	81	100	72	67	61	67	50	67
P11	Умный хвастает старой матерью	60	63	50	63	71	69	71	80	69	72	100	81	69	63	56	63
P12	Сильный хвастает своей силою	53	69	50	58	64	75	71	80	75	67	81	100	73	60	60	73
P13	Силою ухваткою богатырскою	67	69	56	74	71	63	64	73	75	61	69	73	100	63	63	56
P14	За тем за столом за дубовым	67	63	50	63	64	63	57	60	69	67	63	60	63	100	57	71
P15	Сидит один богатырь	53	63	50	58	50	63	57	60	56	50	56	60	63	57	100	62
P16	Ничемто он молодец не хвастает	67	75	56	63	64	75	57	73	63	67	63	73	56	71	62	100

**Таблица 18 – ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА 1-М УРОВНЕ ИЕРАРХИИ В ПРОЦЕНТАХ (БЫЛИНА)**

KOD	PREDL	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
P01	У ласкова у князя у Владимира	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P02	Было пированице почестен пир	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P03	Для многих князей для бояр	0	0	100	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P04	Для русских могучих богатырей	0	0	25	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P05	Красное солнышко к вечеру	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P06	Почестный пир идет на веселие	0	0	0	0	0	100	20	20	0	0	0	0	0	20	0	20
P07	Все на пиру пьянывеселы	0	0	0	0	0	20	100	75	0	0	0	0	0	25	0	25
P08	Все на пиру порасхвастались	0	0	0	0	0	20	75	100	0	0	0	0	0	25	0	25
P09	Богатый хвастает золотой казной	0	0	0	0	0	0	0	0	100	25	25	25	0	0	0	25
P10	Глупый хвастает молодой женой	0	0	0	0	0	0	0	0	25	100	25	25	0	0	0	25
P11	Умный хвастает старой матерью	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25	100	25	0	0	0	25
P12	Сильный хвастает своей силою	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25	25	100	25	0	0	25
P13	Силою ухваткою богатырскою	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	100	0	0	0
P14	За тем за столом за дубовым	0	0	0	0	0	20	25	25	0	0	0	0	0	100	0	0
P15	Сидит один богатырь	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
P16	Ничемто он молодец не хвастает	0	0	0	0	0	20	25	25	25	25	25	25	0	0	0	100

**Таблица 19– ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА 1-М УРОВНЕ ИЕРАРХИИ В СЛОВОФОРМАХ (БЫЛИНА)**

	PREDL	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
P01	У ласкова у князя у Владимира	владими-ра князя ласкова															
P02	Было пированице почестен пир		было пированице почестен														
P03	Для многих князей для бояр			бояр для князей многих	для												
P04	Для русских могучих богатырей			для	богатырей для могучих русских					богатый							
P05	Красное солнышко к вечеру					вечеру расное солнышко											
P06	Почестный пир идет на веселие						веселие идет на пир почестный	на	на						за		не
P07	Все на пиру пьянывеселье						на	все на пиру пьянывеселье	все на пиру						за		не
P08	Все на пиру порасхвастались						на	все на пиру	все на пиру порасхвастались						за		не
P09	Богатый хвастает золотой казной				богатый					богатый золотой казной хвастает	хвастает	хвастает	хвастает				хвастает
P10	Глупый хвастает молодой женой									хвастает	глупый женой молодой хвастает	хвастает	хвастает				хвастает
P11	Умный хвастает старой матерью									хвастает	хвастает	матерью старой умный хвастает	хвастает				хвастает
P12	Сильный хвастает своей силою									хвастает	хвастает	хвастает	своей силою сильный хвастает	силою			хвастает
P13	Силою ухватною богатырскою												силою	богатырскою силою ухватною			
P14	За тем за столом за дубовым						за	за	за						дубовым за столом тем		
P15	Сидит один богатырь															богатырь один сидит	он
P16	Ничемто он молодец не хвастает						не	не	не	хвастает	хвастает	хвастает	хвастает			он	ничемто молодец не он хвастает

\*\*\* на 0-м и 1-м уровнях иерархии (буквы, слова) \*\*\*  
\*\*\*\*\*

G\_buf=SAVESCREEN(0,0,24,79)

```
REPLACE Field_name WITH "Kod",;
      Field_type WITH "C",;
      Field_len WITH 5,;
      Field_dec WITH 0
APPEND BLANK
REPLACE Field_name WITH "Predl",;
      Field_type WITH "C",;
      Field_len WITH 65,;
      Field_dec WITH 0
APPEND BLANK
REPLACE Field_name WITH "ListChar",;
      Field_type WITH "C",;
      Field_len WITH 65,;
      Field_dec WITH 0
APPEND BLANK
REPLACE Field_name WITH "ListWord",;
      Field_type WITH "C",;
      Field_len WITH 65,;
      Field_dec WITH 0
CREATE LingvSys FROM Struc
```

```
*****
Mess = "Необходимо ввести предложения в БД *LingvSys* и запустить
программу !!!"
@20, 40-LEN(Mess)/2 SAY Mess COLOR "w+/n"
INKEY(0)
INKEY(0)
RESTSCREEN(0,0,24,79,G_buf)
QUIT
ENDIF
```

```
*****
***** 0-й УРОВЕНЬ ИЕРАРХИИ (БУКВЫ) *****
*****
```

```
***** Составить отсортированный список уникальных символов, входящих в
предложения
***** Определить максимальную длину предложения и листа уникальных символов
CLOSE ALL
USE LingvSys EXCLUSIVE NEW // Открыть БД с предложениями
N_Predl = RECCOUNT() // Кол-во предложений в БД

Max_Pred = -999
Max_List = -999
DBGOTOP()
DO WHILE .NOT. EOF()
REPLACE ListChar WITH CHARSORT(CHARLIST(LOWER(Predl))) // Сформировать
отсортированный список уникальных букв предложения
Max_Pred = MAX(Max_Pred, LEN(ALLTRIM(Predl)))
Max_List = MAX(Max_List, LEN(ALLTRIM(ListChar)))
DBSKIP(1)
ENDDO
```

```
***** Создать БД совпадения символов в предложениях
CLOSE ALL
CREATE Struc
APPEND BLANK
```

```

REPLACE Field_name WITH "Kod",;
      Field_type WITH "C",;
      Field_len WITH 5,;
      Field_dec WITH 0
APPEND BLANK
REPLACE Field_name WITH "Predl",;
      Field_type WITH "C",;
      Field_len WITH Max_Pred,;
      Field_dec WITH 0
FOR i = 1 TO N_Predl
  APPEND BLANK
  Fn = "P"+STRTRAN(STR(i,2)," ","0")
  REPLACE Field_name WITH Fn,;
        Field_type WITH "C",;
        Field_len WITH Max_List,;
        Field_dec WITH 0
NEXT
CREATE SovList0 FROM Struc

***** Создать БД % совпадения символов в предложениях
CLOSE ALL
CREATE Struc
APPEND BLANK
REPLACE Field_name WITH "Kod",;
      Field_type WITH "C",;
      Field_len WITH 5,;
      Field_dec WITH 0
APPEND BLANK
REPLACE Field_name WITH "Predl",;
      Field_type WITH "C",;
      Field_len WITH Max_Pred,;
      Field_dec WITH 0
FOR i = 1 TO N_Predl
  APPEND BLANK
  Fn = "P"+STRTRAN(STR(i,2)," ","0")
  REPLACE Field_name WITH Fn,;
        Field_type WITH "N",;
        Field_len WITH 7,;
        Field_dec WITH 3
NEXT
CREATE SovPerc0 FROM Struc

***** Заполнить БД совпадения символов в предложениях
***** и БД % совпадений пустыми записями
CLOSE ALL
USE SovPerc0 EXCLUSIVE NEW           // Открыть БД совпадения предложений в %
USE SovList0 EXCLUSIVE NEW           // Открыть БД совпадения символов в
предложениях
USE LingvSys EXCLUSIVE NEW           // Открыть БД с предложениями

FOR i = 1 TO N_Predl
  SELECT LingvSys
  DBGOTO(i)
  M_Predl = Predl
  SELECT SovList0
  APPEND BLANK
  Fn = "P"+STRTRAN(STR(i,2)," ","0")
  REPLACE Kod WITH Fn
  REPLACE Predl WITH M_Predl
  SELECT SovPerc0
  APPEND BLANK
  REPLACE Kod WITH Fn
  REPLACE Predl WITH M_Predl

```



NEXT

\*\*\*\*\* Построение БД пересечений предложений на уровне букв

SELECT LingvSys

```
FOR i=1 TO N_Pred1 // Цикл по
предложениям //
  DBGOTO(i) // Переход на
запись с 1-м предложением //
  Ar_List1 = ListChar // Присвоить
переменной значение 1-го предложения //
  FOR j=1 TO N_Pred1 // Цикл по
предложениям //
    DBGOTO(j) // Переход на
запись со 2-м предложением //
    Ar_List2 = ListChar // Присвоить
переменной значение 2-го предложения //
    M12 = CHARONE(CHARSORT(CHARONLY(Ar_List1,Ar_List2))) // Получить
символы, общие для обоих предложений (убрав повторы) и отсортировать их
    IF LEN(M12) > 0 // Если были
общие символы
      SELECT SovList0
      DBGOTO(i);FIELDPUT(2+j, M12) // Записать
пересечение
      DBGOTO(j);FIELDPUT(2+i, M12)
      SELECT Lingvsys // Сделать
текущей БД исходных предложений
    ENDIF
  NEXT
NEXT
```

\*\*\*\*\* Расчет % сходства предложений на уровне букв: (% совпадающих букв  
\*\*\*\*\* от суммарного количества уникальных букв обоих предложений)

SELECT SovList0

```
FOR i=1 TO N_Pred1 // Цикл по строкам предложениям
  DBGOTO(i)
  Ar_List1 = FIELDGET(2+i) // Присвоить переменной значение листа
символов 1-го предложения
  FOR j=i TO N_Pred1 // Цикл по столбцам предложениям
    Ar_List2 = FIELDGET(2+j) // Присвоить переменной значение листа
символов 2-го предложения
    Ar_m12 := {} // Массив совпадающих символов обоих предложений
    Ar_sum := {} // Массив всех уникальных символов обоих предложений
    FOR k=1 TO LEN(Ar_List1)
      L = SUBSTR(Ar_List1, k, 1) // k-й символ 1-го предложения
      IF AT(L, Ar_List2) > 0
        IF ASCAN(Ar_m12, L) = 0
          AADD(Ar_m12, L)
        ENDIF
      ENDIF
      IF ASCAN(Ar_sum, L) = 0
        AADD(Ar_sum, L)
      ENDIF
    NEXT
  FOR k=1 TO LEN(Ar_List2)
    L = SUBSTR(Ar_List2, k, 1) // k-й символ 2-го предложения
```

```

        IF ASCAN(Ar_sum, L) = 0
            AADD(Ar_sum, L)
        ENDIF
    NEXT
    IF LEN(Ar_sum) > 0
        SELECT SovPerC0
        DBGOTO(i);FIELDPUT(2+j, LEN(Ar_m12)/LEN(Ar_sum)*100)
        DBGOTO(j);FIELDPUT(2+i, LEN(Ar_m12)/LEN(Ar_sum)*100)
        SELECT SovList0
    ENDIF
NEXT
NEXT

*****
***** 1-й УРОВЕНЬ ИЕРАРХИИ (СЛОВА) *****
*****

**** Составить отсортированный список уникальных слов, входящих в
предложения
**** Определить максимальную длину предложения и листа уникальных слов
CLOSE ALL
USE LingvSys EXCLUSIVE NEW           // Открыть БД с предложениями
N_Pred1 = RECCOUNT()                 // Кол-во предложений в БД

Max_Pred = -999
Max_List = -999
DBGOTOP()
DO WHILE .NOT. EOF()

    *** Сформировать отсортированный список уникальных слов предложения
    Ar_word := {}
    M_Pred1 = Pred1
    FOR w=1 TO NUMTOKEN(M_Pred1)
        M_Word = ALLTRIM(LOWER(TOKEN(M_Pred1, w)))
        IF LEN(M_Word) > 1           // Исключение предлогов
            IF ASCAN(Ar_word, M_Word) = 0 // Исключение повторов слов
                AADD(Ar_word, M_Word) // Добавление слова в массив
            ENDIF
        ENDIF
    NEXT
    ASORT(Ar_word)
    M_ListWord = ""
    FOR w=1 TO LEN(Ar_word)
        M_ListWord = M_ListWord + Ar_word[w] + " "
    NEXT
    REPLACE ListWord WITH ALLTRIM(M_ListWord)
    Max_Pred = MAX(Max_Pred, LEN(ALLTRIM(M_Pred1)))
    Max_List = MAX(Max_List, LEN(ALLTRIM(M_ListWord)))
    DBSKIP(1)
ENDDO

**** Создать БД совпадения слов в предложениях
CLOSE ALL
CREATE Struc
APPEND BLANK
REPLACE Field_name WITH "Kod",;
        Field_type WITH "C",;
        Field_len WITH 5,;
        Field_dec WITH 0
APPEND BLANK
REPLACE Field_name WITH "Pred1",;
        Field_type WITH "C",;

```

```

        Field_len WITH Max_Pred,;
        Field_dec WITH 0
FOR i = 1 TO N_Pred1
APPEND BLANK
Fn = "P"+STRTRAN(STR(i,2)," ","0")
REPLACE Field_name WITH Fn,;
        Field_type WITH "C",;
        Field_len WITH Max_List,;
        Field_dec WITH 0
NEXT
CREATE SovList1 FROM Struc

***** Создать БД % совпадения слов в предложениях
CLOSE ALL
CREATE Struc
APPEND BLANK
REPLACE Field_name WITH "Kod",;
        Field_type WITH "C",;
        Field_len WITH 5,;
        Field_dec WITH 0
APPEND BLANK
REPLACE Field_name WITH "Pred1",;
        Field_type WITH "C",;
        Field_len WITH Max_Pred,;
        Field_dec WITH 0
FOR i = 1 TO N_Pred1
APPEND BLANK
Fn = "P"+STRTRAN(STR(i,2)," ","0")
REPLACE Field_name WITH Fn,;
        Field_type WITH "N",;
        Field_len WITH 7,;
        Field_dec WITH 3
NEXT
CREATE SovPercl FROM Struc
ERASE("Struc.dbf")

***** Заполнить БД совпадения слов в предложениях
***** и БД % совпадений пустыми записями
CLOSE ALL
USE SovPercl EXCLUSIVE NEW           // Открыть БД совпадения предложений в %
USE SovList1 EXCLUSIVE NEW           // Открыть БД совпадения слов в
предложениях
USE LingvSys EXCLUSIVE NEW           // Открыть БД с предложениями

FOR i = 1 TO N_Pred1
SELECT LingvSys
DBGOTO(i)
M_Pred1 = Pred1
SELECT SovList1
APPEND BLANK
Fn = "P"+STRTRAN(STR(i,2)," ","0")
REPLACE Kod WITH Fn
REPLACE Pred1 WITH M_Pred1
SELECT SovPercl
APPEND BLANK
REPLACE Kod WITH Fn
REPLACE Pred1 WITH M_Pred1
NEXT

*** Построение БД пересечений предложений на уровне слов

FOR i=1 TO N_Pred1 // Цикл по предложениям

```

```

SELECT LingvSys
DBGOTO(i) // Переход на запись с 1-м
предложением

***** Занести в массив значения слов 1-го предложения
Ar_List1 := {}
M_ListWord = LOWER(ListWord)
FOR w=1 TO NUMTOKEN(M_ListWord)
  M_Word = ALLTRIM(TOKEN(M_ListWord, w))
  IF ASCAN(Ar_List1, M_Word) = 0 // Исключение повторов слов
    AADD(Ar_List1, M_Word) // Добваление слова в массив
  ENDIF
NEXT

FOR j=1 TO N_Pred1 // Цикл по предложениям

  DBGOTO(j) // Переход на запись со 2-м
  предложением

  ***** Занести в массив значения слов 2-го предложения
  Ar_List2 := {}
  M_ListWord = LOWER(ListWord)
  FOR w=1 TO NUMTOKEN(M_ListWord)
    M_Word = TOKEN(M_ListWord, w)
    IF ASCAN(Ar_List2, M_Word) = 0 // Исключение повторов слов
      AADD(Ar_List2, M_Word) // Добваление слова в массив
    ENDIF
  NEXT

  *** Получить слова и словоформы, ОБЩИЕ для обоих предложений
  *** (убрав повторы) и отсортировать их
  *** Определить словоформы с использованием расстояния Левенштейна
  Krs = 3 // Критерий сходства

  словоформ
  Ar_m12 := {} // Массив общих словоформ
  FOR w1=1 TO LEN(Ar_List1)
    FOR w2=1 TO LEN(Ar_List2)
      *** Сравнение сходства двух слов или словоформ
      *** с использованием расстояния Левенштейна
      IF STRDIFF(Ar_List1[w1], Ar_List2[w2]) <= Krs

        Flag_ins = .F.
        ** Исключение тождественных повторов
        IF ASCAN(Ar_m12, Ar_List1[w1]) = 0
          Flag_ins = .T.
        ENDIF
        IF Flag_ins = .F.
          *** Исключение повторов словоформ
          *** т.е. сходных слов в массиве еще нет
          LEN_Ar_m12 = LEN(Ar_m12)
          n = 0
          FOR k=1 TO LEN_Ar_m12
            IF STRDIFF(Ar_m12[k], Ar_List1[w1]) > Krs
              ++n
            ENDIF
          NEXT
          IF n = LEN_Ar_m12 // Все имеющиеся в массиве слова не
похожи

            Flag_ins = .T.
          ENDIF
        ENDIF
        IF Flag_ins
          AADD(Ar_m12, Ar_List1[w1]) // Добавление слова в
массив

```

```

                ENDIF
            ENDIF
        NEXT
    NEXT

    ***** Сформировать переменную для записи в БД сходства слов
    M_m12 = ""
    FOR w=1 TO LEN(Ar_m12)
        M_m12 = M_m12 + Ar_m12[w] + " "
    NEXT

    IF LEN(Ar_m12) > 0 // Если были
общие слова
        SELECT SovList1
            DBGOTO(i);FIELDPUT(2+j, ALLTRIM(M_m12)) // Записать общие
слова в БД совпадений
            DBGOTO(j);FIELDPUT(2+i, ALLTRIM(M_m12)) // Записать общие
слова в БД совпадений
        SELECT Lingvsys // Сделать
текущей БД исходных предложений
    ENDIF
    NEXT
NEXT

***** Расчет % сходства предложений на уровне слов: (% совпадающих слов
***** от суммарного количества уникальных слов обоих предложений)

SELECT SovList1

FOR i=1 TO N_Pred1 // Цикл по строкам предложениям

    DBGOTO(i)
    ***** Занести в массив значения слов 1-го предложения
    Ar_List1 := {}
    M_ListWord = FIELDGET(2+i)
    FOR w=1 TO NUMTOKEN(M_ListWord)
        M_Word = TOKEN(M_ListWord, w)
        AADD(Ar_List1, M_Word) // Добавление слова в массив
    NEXT

    FOR j=i TO N_Pred1 // Цикл по столбцам предложениям

        ***** Занести в массив значения слов 2-го предложения
        Ar_List2 := {}
        M_ListWord = FIELDGET(2+j)
        FOR w=1 TO NUMTOKEN(M_ListWord)
            M_Word = TOKEN(M_ListWord, w)
            AADD(Ar_List2, M_Word) // Добавление слова в массив
        NEXT

        *** Получить слова, ОБЩИЕ для обоих предложений
        *** (убрав повторы) и отсортировать их
        *** Определить словоформы с использованием расстояния Левенштейна

        Krs = 3 // Критерий сходства словоформ
        Ar_m12 := {} // Массив совпадающих словоформ обоих предложений

        FOR w1=1 TO LEN(Ar_List1)
            FOR w2=1 TO LEN(Ar_List2)

                *** Сравнение сходства двух слов или словоформ
                *** с использованием расстояния Левенштейна

                IF STRDIFF(Ar_List1[w1], Ar_List2[w2]) <= Krs

```

```

*** Исключение повторов словоформ, т.е. добавлять
*** только если сходных слов в массиве еще нет
LEN_Ar_m12 = LEN(Ar_m12)
n = 0
IF LEN_Ar_m12 > 0
  FOR k=1 TO LEN_Ar_m12
    IF STRDIFF(Ar_m12[k], Ar_List1[w1]) > Krs
      ++n
    ENDIF
  NEXT
ENDIF
IF n = LEN_Ar_m12 // Все имеющиеся в массиве слова не
похожи
  AADD(Ar_m12, Ar_List1[w1]) // Добавление слова в
массив
ENDIF
ENDIF
NEXT
NEXT

***** Формирование массива уникальных слов
***** и словоформ, входящих в 1-е, 2-е или в оба предложения

Ar_sum := {} // Массив всех уникальных словоформ обоих
предложений
FOR i1=1 TO LEN(Ar_List1)
  AADD(Ar_sum, Ar_List1[i1]) // Добавление слова в
массив
NEXT
FOR i1=1 TO LEN(Ar_sum)
  FOR j1=1 TO LEN(Ar_List2)
    *** Сравнение сходства двух слов или словоформ
    *** с использованием расстояния Левенштейна
    IF STRDIFF(Ar_sum[i1], Ar_List2[j1]) <= Krs
      *** Исключение повторов словоформ, т.е. добавлять слово
      *** только если сходных слов в массиве еще нет
      LEN_Ar_sum = LEN(Ar_sum)
      n = 0
      IF LEN_Ar_sum > 0
        FOR k=1 TO LEN_Ar_sum
          IF STRDIFF(Ar_sum[k], Ar_List2[j1]) > Krs
            ++n
          ENDIF
        NEXT
      ENDIF
      IF n = LEN_Ar_sum // Все имеющиеся в массиве слова не
похожи
        AADD(Ar_sum, Ar_List2[j1]) // Добавление слова в
массив
      ENDIF
    ENDIF
  NEXT
NEXT
NEXT

** Занесение информации в БД % сходства предложений на уровне слов
IF LEN(Ar_sum) > 0
  SELECT SovPercl
  DBGOTO(i);FIELDPUT(2+j, LEN(Ar_m12)/LEN(Ar_sum)*100)
  DBGOTO(j);FIELDPUT(2+i, LEN(Ar_m12)/LEN(Ar_sum)*100)
  SELECT SovList1
ENDIF
NEXT
NEXT

```

```

Mess = "Исследование пересечений лингвистических систем успешно завершено
!!!"
@20, 40-LEN(Mess)/2 SAY Mess COLOR "w+/n"
INKEY(0)
INKEY(0)

RESTSCREEN(0,0,24,79,G_buf)
QUIT

```

Более развитые подходы, основанные на АСК-анализе, в которых символы имеют *различный* вес для идентификации слов (в различной степени характерны для слов или *принадлежат* словам), а слова – различный вес для идентификации текстов (в различной степени характерны для текстов или *принадлежат* текстам), и *эти веса вычисляются на основе примеров (и эти функции принадлежности вычисляются непосредственно на основе эмпирических данных)*, были апробированы автором при решении задач идентификации слов по входящим в них буквам [147] и атрибуции анонимных и псевдонимных текстов [150].

Итак, сделаем некоторые обобщения.

Две системы тождественны, если тождественны все их элементы на всех уровнях иерархии, а также тождества их структура, т.е. взаимосвязи между элементами. В теории множеств о структуре речи не было.

Если есть две системы, то в них могут входить различные 0-тождественные элементы-подсистемы. Это означает, что на 0-м уровне иерархии эти системы могут иметь *пересечение в смысле теории множеств*, а на последующих уровнях иерархии его может и не быть.

**Определение 10:** *пересечением двух систем является система, состоящая из элементов, являющихся пересечением на каждом из имеющихся иерархических уровней этих систем.*

### **Выводы**

Ранее автором была обоснована программная идея системного обобщения математики и сделан первый шаг по ее реализации: предложен вариант *системной теории информации* (СТИ). В данной работе осуществлена попытка – сделать второй шаг в том же направлении: рассматривается один из возможных подходов к системному обобщению математического понятия *множества*, а именно – подход, основанный на системной теории информации. Предполагается, что этот подход может стать основой для системного обобщения теории множеств и создания математической теории систем.

По ходу обсуждения сформулированных задач и подходов к их решению было выяснено, что в современной науке *уже созданы научные теории* (более того, они общепризнанны), которые хорошо вписываются в предложенную программную идею системного обобщения математики как *элементы мозаики в общую картину*, контуры которой мы и пытались нащупать. В дальнейшем при реализации предложенной программной идеи

системного обобщения математики эта мозаика будет дополняться новыми элементами и, в конце концов, мы увидим всю картину в целом.

### **Так что же это за теории?**

*Прежде всего, это общая теория относительности (ОТО) Альберта Эйнштейна, основанная на общей идее о том, что **физические явления можно описывать свойствами пространства – времени**, например, гравитацию можно рассматривать как искривление пространства. В последующем эта идея получила развитие в работах по геометродинамике Дж. Уиллера, однако, описать другие физические явления с помощью геометрии оказалось на данном этапе затруднительным, что, по мнению автора, обусловлено, в том числе, недостаточной развитостью самой геометрии, в частности **бедностью набора свойств геометрических объектов**. Будем надеяться, что разработка системного обобщения геометрии позволит кардинально преодолеть эту проблему и **описать свойства физических (да и других) объектов и явлений как эмерджентные свойства геометрических систем, лежащих в их основе и этими свойствами не обладающих**. Если эту идею довести до логического конца, то будет стерта непреодолимая граница между математикой и физикой, математикой и другими науками. С учетом того, что системная геометрия и системная теория информации оказываются тесно взаимосвязанными, можно высказать следующую гипотезу, которая кажется вполне обоснованной: *любые процессы и явления внутреннего и внешнего мира независимо от их природы можно рассматривать как информационные процессы, в которых объекты информационно взаимодействуют друг с другом с помощью каналов связи с определенными характеристиками, и при этом, соответственно, выделяется или поглощается энергия, изменяется уровень организации, уровень системности взаимодействующих объектов, изменяется их структура и функции (свойства)*. Для целенаправленного изменения структуры и функций объектов и явлений любой природы, в т.ч. квантовых, можно использовать методы и средства теории автоматизированного управления, применяя при этом для воздействия на объекты с целью управления ими информационные, по своей природе, управляющие факторы (отметим, что эта идея в развитой форме была высказана и реализована еще в 1984 году<sup>9</sup>). Таким образом, теория информации, ее идеи и методы могут проникнуть во все области науки и практики, т.к. информация – это предельно общая категория, даже более общая, чем категории "бытие и небытие", "материя и сознание", так как что бы мы не говорили об этих или других категориях, мы, прежде всего, обмениваемся информацией об их содержании и строим их информационные модели.*

*Это и фрактальная геометрия Бенуа Мандельброта, в которой, пожалуй, впервые в геометрии со времен Евклида коренным образом*

---

<sup>9</sup> Бутковский А.Г., Самойленко Ю.И. Управление квантово-механическими процессами. – М.: Наука, 1984. – 250 с.



изменено представление о геометрических объектах в бесконечно-малом, обобщено представление о размерности пространства, стали систематически рассматриваться эмерджентные свойства геометрических систем.

*Это и теория нечетких множеств Лотфи Заде, в которой может быть еще не вполне осознанно и целенаправленно, но были обогатены свойства математических множеств, в результате чего, по сути, нечетким множествам были приписаны отдельные свойства систем.*

Все это вселяет надежду, что программная идея системного обобщения математики является вполне оправданной и обоснованной, и у нее есть перспективы применения и развития, т.е. *действительно может быть получено системное обобщение любого математического понятия, основанного на понятии множества, любой области математики, основанной на теории множеств, путем тотальной замены понятия "множество" на более общее понятие "система" и прослеживания всех последствий этого.* То, что эта надежда не беспочвенна, подтверждается не только существованием уже перечисленных выше общепринятых теорий, но и появлением целого ряда новаторских работ, подобных работам [30, 31, 32], демонстрирующим качественно новый уровень понимания проблем, связанных с системами и информацией.

**Замечание по вопросу о названии "Системного обобщения теории множеств"**, возможность которого мы обсуждали в данном разделе. Для этого обобщения были бы очень удачны термины: "Математическая теория систем" или "Информационная теория систем", однако эти термины уже есть в арсенале науки [24, 25], *и при этом в них вкладывается иное смысловое содержание.* Поэтому, видимо, придется либо несколько *переосмыслить* это содержание (что кажется более рациональным, т.к. в науке постоянно происходит процесс переосмысления ее содержания), либо научное направление, к которому относится данная работа, так и называть: **"Системное обобщение теории множеств"**.

В заключение хотелось бы отметить, что авторы полностью осознают весьма спорный характер высказанных в данной работе мыслей и положений, но все же изложили их потому, что считают их *интересными*, поэтому все эти мысли и положения высказываются здесь *исключительно* в порядке научного обсуждения и ни в коей мере не претендуют на какую-либо полноту и завершенность.

### 2.2.2. Развитие идеи системного обобщения математики в области теории информации: системная (эмерджентная) теория информации (СТИ)

Дальнейшее изложение основано на работах [97] и [280], нумерация формул, рисунков и таблиц сохранены теми же, что в работе [280].

Итак, классическая формула Хартли имеет вид:

$$I = \text{Log}_2 W \quad (3.6)$$

Будем искать ее системное обобщение в виде:

$$I = \text{Log}_2 W^\varphi \quad (3.7)$$

где:

$W$  – количество элементов в множестве.

$\varphi$  – коэффициент эмерджентности, названный автором в честь Хартли коэффициентом эмерджентности Хартли.

Примем, что системное обобщение формулы Хартли имеет вид:

$$I = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m \quad (3.8)$$

где:

$C_W^m$  – количество подсистем из  $m$  элементов;

$m$  – сложность подсистем;

$M$  – **максимальная** сложность подсистем (максимальное число элементов подсистемы).

Так как  $C_W^1 = W$ , то при  $M=1$  система переходит в множество и выражение (2.8) приобретает вид (2.6), т.е. для него выполняется *принцип соответствия*, являющийся обязательным для более общей теории.

Учитывая, что при  $M=W$

$$\sum_{m=1}^M C_W^m = 2^W - 1 \quad (3.9)$$

в этом случае получаем:

$$I = \text{Log}_2 (2^W - 1) \quad (3.10)$$

Выражение (3.10) дает *оценку максимального количества информации* в элементе системы. Из выражения (3.10) видно, что при увеличении числа элементов  $W$  количество информации  $I$  быстро стремится к  $W$  (3.6) и уже при  $W > 4$  погрешность выражения (3.10) не превышает 1%:

$$\begin{aligned} \text{при } W \rightarrow \infty \\ I \rightarrow W \end{aligned} \quad (3.11)$$

Приравняв правые части выражений (2.7) и (2.8):

$$I = \text{Log}_2 W^\varphi = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m \quad (3.12)$$

получим выражение для коэффициента эмерджентности Хартли:

$$\varphi = \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log}_2 W} \quad (3.13)$$

Смысл этого коэффициента раскрыт в работе [97] и ряде других. Здесь отметим лишь, что при  $M \rightarrow 1$ , когда система асимптотически переходит в

множество, имеем  $\varphi \rightarrow 1$  и (3.7)  $\rightarrow$  (3.6), как и должно быть согласно принципу соответствия.

С учетом (3.13) выражение (3.7) примет вид:

$$I(W, M) = \text{Log}_2 W \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log}_2 W} \quad (3.14)$$

или при  $M=W$  и больших  $W$ , учитывая (2.9) и (2.10):

$$I(W, M) = \text{Log}_2 W \frac{W}{\text{Log}_2 W} = W \quad (3.1)$$

Выражение (3.9) и представляет собой искомое системное обобщение классической формулы Хартли, а выражение (3.15) – его достаточно хорошее приближение при большом количестве элементов в системе  $W$

Классическая формула А. Харкевича имеет вид:

$$I_{ij}(W, M) = \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_{\Sigma j}} \quad (3.2)$$

где: –  $P_{ij}$  – условная вероятность перехода объекта в  $j$ -е состояние при условии действия на него  $i$ -го значения фактора;

–  $P_{\Sigma j}$  – безусловная вероятность перехода объекта в  $j$ -е состояние (вероятность самопроизвольного перехода или вероятность перехода, посчитанная по всей выборке, т.е. при действии *любого* значения фактора).

Придадим выражению (2.16) следующий **эквивалентный** вид (3.17), который и будем использовать ниже. Вопрос об эквивалентности выражений (2.16) и (2.17) рассмотрим позднее.

$$I_{ij}(W, M) = \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_{\Sigma i}} \quad (3.3)$$

где: – индекс  $i$  обозначает признак (значение фактора):  $1 \leq i \leq M$ ;

– индекс  $j$  обозначает состояние объекта или класс:  $1 \leq j \leq W$ ,

–  $P_{ij}$  – условная вероятность наблюдения  $i$ -го значения фактора у объектов в  $j$ -го класса;

–  $P_{\Sigma i}$  – безусловная вероятность наблюдения  $i$ -го значения фактора по всей выборке.

Из (3.17) видно, что формула Харкевича для семантической меры информации по сути является **логарифмом от формулы Байеса для апостериорной вероятности (отношение условной вероятности к безусловной)**.

Известно, что классическая формула Шеннона для количества информации для неравновероятных событий преобразуется в формулу Хартли при условии, что события равно-вероятны, т.е. удовлетворяет фундаментальному *принципу соответствия*. Поэтому теория информации Шеннона справедливо считается обобщением теории Хартли для неравновероятных

событий. Однако, выражения (3.16) и (3.17) при подстановке в них реальных численных значений вероятностей  $P_{ij}$ ,  $P_{\Sigma}$  и  $P_j$  не дает количества информации в *битах*, т.е. для этого выражения не выполняется *принцип соответствия*, обязательный для более общих теорий. Возможно, в этом состоит причина довольно сдержанного, а иногда и скептического отношения специалистов по теории информации Шеннона к семантической теории информации Харкевича.

Причину этого мы видим в том, что в выражениях (3.16) и (3.17) отсутствуют глобальные параметры *конкретной* модели  $W$  и  $M$ , т.е. в том, что А. Харкевич в своем выражении для количества информации не ввел зависимости от мощности прост-ранства будущих состояний объекта  $W$  и количества значений факторов  $M$ , обуславливающих переход объекта в эти состояния.

Поставим задачу получить такое обобщение формулы Харкевича, которое бы удовлетворяло *тому же самому* *принципу соответствия*, что и формула Шеннона, т.е. преобразовывалось в формулу Хартли в предельном детерминистском равно-вероятном случае, когда каждому классу (состоянию объекта) соответствует один признак (значение фактора), и каждому признаку – один класс, и эти классы (а, значит и признаки), *равновероятны*, и при этом каждый фактор однозначно, т.е. *детерминистским* образом определяет переход объекта в определенное состояние, соответствующее классу.

В детерминистском случае вероятность<sup>10</sup>  $P_{ij}$  наблюдения объекта  $j$ -го класса при обнаружении у него  $i$ -го признака:

$$P_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } i = j \\ 0, & \text{при } i \neq j \end{cases}$$

Будем искать это обобщение (12) в виде:

$$I_{ij}(W, M) = \text{Log}_2 \left( \frac{P_{ij}}{P_{\Sigma}} \right)^{\Psi} \quad (2.18)$$

Найдем такое выражение для коэффициента  $\Psi$ , названного нами в честь А. Харкевича "коэффициентом эмерджентности Харкевича", которое обеспечивает выполнение для выражения (2.18) принципа соответствия с классической формулой Хартли (2.6) и ее системным обобщением (2.7) и (2.8) в *равновероятном детерминистском* случае.

Для этого нам потребуется выразить вероятности  $P_{ij}$ ,  $P_j$  и  $P_i$  через частоты наблюдения признаков по классам (см. таблица 2.20). В таблица 3.20 рамкой обведена область значений, переменные определены ранее.

### **Алгоритм формирования матрицы абсолютных частот.**

<sup>10</sup> предел, к которому стремится частота при неограниченном увеличении числа наблюдений

Объекты обучающей выборки описываются векторами (мас-сивами)  $\mathcal{L} = \{L_i\}$  имеющихся у них признаков:

$L_i = \{L_j\} = n$ , если у объекта  $i$ -й признак встречается  $n$  раз.

Первоначально в матрице абсолютных частот все значения равны нулю. Затем организуется цикл по объектам обучающей выборки. Если предъявленного объекта, относящегося к  $j$ -му классу, есть  $i$ -й признак, то:

$$N_{ij} = N_{ij} + 1; N_{i\Sigma} = N_{i\Sigma} + 1; N_{\Sigma j} = N_{\Sigma j} + 1; N_{\Sigma\Sigma} = N_{\Sigma\Sigma} + 1$$

Таблица 2.20 – Матрица абсолютных частот

		Классы				Сумма
		1	...	$j$	...	
Значения факторов	1	$N_{11}$		$N_{1j}$		$N_{1W}$
	...					
	$i$	$N_{i1}$		$N_{ij}$		$N_{iW}$
	...					
	$M$	$N_{M1}$		$N_{Mj}$		$N_{MW}$
Суммарное количество признаков				$N_{\Sigma j} = \sum_{i=1}^M N_{ij}$		$N_{\Sigma\Sigma} = \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^M N_{ij}$

Здесь можно провести очень интересную и важную аналогию между способом формирования матрицы абсолютных частот и работой **многоканальной системы выделения полезного сигнала из шума**. Представим себе, что все объекты, предъявляемые для формирования обобщенного образа некоторого класса, в действительности являются различными реализациями одного объекта – "Эйдоса" (в смысле Платона), по-разному зашумленного различными случайными обстоятельствами. И наша задача состоит в том, чтобы подавить этот шум и выделить из него то общее и существенное, что отличает объекты данного класса от объектов других классов. Учитывая, что шум чаще всего является "белым" и имеет свойство при суммировании с самим собой стремиться к нулю, а сигнал при этом, наоборот, возрастает пропорционально количеству слагаемых, то увеличение объема обучающей выборки приводит ко все лучшему отношению сигнал/шум в матрице абсолютных частот, т.е. к выделению полезной информации из шума. Примерно так мы начинаем постепенно понимать смысл фразы, которую мы сразу не слышали по телефону и несколько раз переспрашивали. При этом в повторах шум не позволяет понять то одну, то другую часть фразы, но в

конце концов за счет использования памяти и интеллектуальной обработки информации мы понимаем ее всю. Так и *объекты, описанные признаками, можно рассматривать как зашумленные фразы, несущие нам информацию об обобщенных образах классов - "Эйдосах" [97, 206], к которым они относятся. И эту информацию мы выделяем из шума при синтезе модели.*

Для выражения (3.16):

$$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{\Sigma}} \quad (3.4)$$

Для выражений (3.17) и (3.18):

$$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{\Sigma j}} \quad (2.20)$$

Для выражений (3.16), (3.17) и 3.21):

$$\begin{aligned} P_i &= \frac{N_{\Sigma}}{N_{\Sigma\Sigma}}; P_j = \frac{N_{\Sigma j}}{N_{\Sigma\Sigma}}; \\ N_{\Sigma} &= \sum_{j=1}^W N_{ij}; N_{\Sigma j} = \sum_{i=1}^M N_{ij}; \\ N_{\Sigma\Sigma} &= \sum_{i=1}^M N_{\Sigma} = \sum_{j=1}^W N_{\Sigma j} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij} \end{aligned} \quad (2.21)$$

В (3.21) использованы обозначения:

$N_{ij}$  – суммарное количество наблюдений в исследуемой выборке факта: "действовало  $i$ -е значение фактора и объект перешел в  $j$ -е состояние";

$N_{\Sigma j}$  – суммарное по всей выборке количество встреч различных факторов у объектов, перешедших в  $j$ -е состояние;

$N_{\Sigma}$  – суммарное количество встреч  $i$ -го фактора у всех объектов исследуемой выборки;

$N_{\Sigma\Sigma}$  – суммарное количество встреч различных значений факторов у всех объектов исследуемой выборки.

**Формирование матрицы условных и безусловных процентных распределений.**

На основе анализа матрицы частот (таблица 3.20) классы можно сравнивать по наблюдаемым частотам признаков только в том случае, если количество объектов по всем классам *одинаково*, как и *суммарное количество признаков по классам*. Если же они отличаются, то корректно сравнивать классы можно только по условным и безусловным относительным частотам (оценкам вероятностей) наблюдений признаков, посчитанных на основе матрицы частот (таблица 3.20) в соответствии с

выражениями (3.14) и (3.20), в результате чего получается матрица условных и безусловных процентных распределений (таблица 3.21).

При расчете матрицы оценок условных и безусловных вероятностей  $N_j$  из таблица 3.20 могут браться либо из предпоследней, либо из последней строки. В 1-м случае  $N_j$  представляет собой "Суммарное количество признаков у всех объектов, использованных для формирования обобщенного образа  $j$ -го класса", а во 2-м случае - это "Суммарное количество объектов обучающей выборки, использованных для формирования обобщенного образа  $j$ -го класса", соответственно получаем различные, хотя и очень сходные семантические информационные модели, которые мы называем СИМ-1 и СИМ-2. Оба этих вида моделей поддерживаются системой "Эйдос".

Таблица 3.21 – Матрица условных и безусловных процентных распределений

		Классы					Безусловная вероятность признака
		1	...	$j$	...	$w$	
Значения факторов	1	$P_{11}$		$P_{1j}$		$P_{1w}$	
	...						
	$i$	$P_{i1}$		$P_{ij}$		$P_{iw}$	$P_{i\Sigma}$
	...						
	$M$	$P_{M1}$		$P_{Mj}$		$P_{Mw}$	
Безусловная вероятность класса				$P_{\Sigma j}$			

**Эквивалентность выражений** (3.16) и (3.17) устанавливается, если подставить в них выражения относительных частот как оценок вероятностей  $P_{ij}$ ,  $P_{\Sigma}$  и  $P_{\Sigma j}$  через абсолютные частоты наблюдения признаков по классам из (14), (15) и (16). В обоих случаях из выражений 3.16) и (1.17) получается одно и то же выражение (3.17).

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \frac{N_{ij} N_{\Sigma\Sigma}}{N_{\Sigma} N_{\Sigma j}} \quad (3.22)$$

А из (2.18) - выражение (2.23), с которым мы и будем далее работать.

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij} N_{\Sigma\Sigma}}{N_{\Sigma} N_{\Sigma j}} \right)^{\Psi} \quad (3.23)$$

При взаимно-однозначном соответствии классов и признаков в равновероятном детерминистском случае имеем (таблица 3.22):

Таблица 3.22 – Матрица частот в равновероятном дискретном случае

		Классы					Сумма
		1	...	j	...	W	
Значения факторов	1	1					1
	...		1				1
	i			1			1
	...				1		1
	M					1	1
Сумма		1	1	1	1	1	$N_{\Sigma\Sigma}$

В этом случае к каждому классу относится один объект, имеющий единственный признак. Откуда получаем для всех  $i$  и  $j$  равенства (3.19):

$$\forall ij: N_{ij} = N_{\Sigma} = N_{\Sigma_j} = 1 \quad (3.24)$$

Таким образом, обобщенная формула А. Харкевича (18) с учетом (2.24) в этом случае приобретает вид:

$$I_{ij} = \text{Log}_2 N_{\Sigma\Sigma}^{\Psi} = \text{Log}_2 W^{\varphi} \quad (3.25)$$

откуда:

$$\Psi = \frac{\text{Log}_2 W^{\varphi}}{\text{Log}_2 N_{\Sigma\Sigma}} \quad (3.26)$$

или, учитывая выражение для коэффициента эмерджентности Хартли (3.8):

$$\Psi = \frac{\text{Log}_2 W \frac{\sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log}_2 W}}{\text{Log}_2 N_{\Sigma\Sigma}} \quad (3.27)$$

Подставив коэффициент эмерджентности А.Харкевича (3.26) в выражение (3.23), получим:

$$\begin{aligned} I_{ij} &= \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij} N_{\Sigma}}{N_{\Sigma} N_{\Sigma_j}} \right)^{\Psi} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij} N_{\Sigma\Sigma}}{N_{\Sigma} N_{\Sigma_j}} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^{\varphi}}{\text{Log}_2 N}} = \\ &= \frac{\text{Log}_2 W^{\varphi}}{\text{Log}_2 N_{\Sigma\Sigma}} \left( \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_{\Sigma} N_{\Sigma_j}} \right) + \text{Log}_2 N_{\Sigma\Sigma} \right) = \\ &= \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_{\Sigma} N_{\Sigma_j}} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^{\varphi}}{\text{Log}_2 N_{\Sigma\Sigma}}} + \text{Log}_2 W^{\varphi} \end{aligned}$$

или окончательно:



$$I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_{\Sigma} N_{\Sigma j}} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N_{\Sigma\Sigma}}} + \text{Log}_2 W^\varphi \quad (3.28)$$

Отметим, что 1-я задача получения системного обобщения формул Хартли и Харкевича и 2-я задача получения такого обобщения формулы Харкевича, которая удовлетворяет принципу соответствия с формулой Хартли – это две разные задачи. 1-я задача является более общей и при ее решении, которое приведено выше, *автоматически* решается и 2-я задача, которая является, таким образом, частным случаем 1-й.

Однако, представляет самостоятельный интерес и частный случай, в результате которого получается формула Харкевича, удовлетворяющая в *равновероятном детерминистском* случае принципу соответствия с классической формулой Хартли (2.6), а не с ее системным обобщением (2.7) и (2.8). Ясно, что эта формула получается из (2.28) при  $\varphi=1$ .

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_{\Sigma} N_{\Sigma j}} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W}{\text{Log}_2 N_{\Sigma\Sigma}}} + \text{Log}_2 W \quad (3.5)$$

Из выражений (2.26) и (2.27) видно, что в этом частном случае, т.е. когда система эквивалентна множеству ( $M=1$ ), коэффициент эмерджентности А.Харкевича приобретает вид:

$$\Psi = \frac{\text{Log}_2 W}{\text{Log}_2 N_{\Sigma\Sigma}} \quad (3.30)$$

**На практике для численных расчетов удобнее пользоваться** не выражениями (2.28) или (2.29), а **формулой** (2.31), которая получается непосредственно из (2.23) после подстановки в него выражения (2.30).

$$I_{ij} = \frac{\text{Log}_2 W}{\text{Log}_2 N_{\Sigma\Sigma}} \times \text{Log}_2 \frac{N_{ij} N_{\Sigma\Sigma}}{N_{\Sigma} N_{\Sigma j}} \quad (3.31)$$

Здесь –  $\bar{I}_i$  это *среднее* количество знаний в  $i$ -м значении фактора:

$$\bar{I}_i = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^W I_{ij} \quad (3.32)$$

Используя выражение (3.26) и данные таблицы 3.21 непосредственно прямым счетом получаем *матрицу знаний* (таблица 3.23).

Таблица 3.23 – Матрица знаний (информативностей)

	Классы	Значимость
--	--------	------------

		<i>1</i>	...	<i>j</i>	...	<i>W</i>	фактора
Значения факторов	<i>1</i>	$I_{11}$		$I_{1j}$		$I_{1W}$	$\sigma_{1\Sigma} = \sqrt[2]{\frac{1}{W-1} \sum_{j=1}^W (I_{1j} - \bar{I}_1)^2}$
	...						
	<i>i</i>	$I_{i1}$		$I_{ij}$		$I_{iW}$	$\sigma_{i\Sigma} = \sqrt[2]{\frac{1}{W-1} \sum_{j=1}^W (I_{ij} - \bar{I}_i)^2}$
	...						
	<i>M</i>	$I_{M1}$		$I_{Mj}$		$I_{MW}$	$\sigma_{M\Sigma} = \sqrt[2]{\frac{1}{W-1} \sum_{j=1}^W (I_{Mj} - \bar{I}_M)^2}$
Степень редукции класса		$\sigma_{\Sigma 1}$		$\sigma_{\Sigma j}$		$\sigma_{\Sigma W}$	$H = \sqrt[2]{\frac{1}{(W \cdot M - 1)} \sum_{j=1}^W \sum_{i=1}^M (I_{ij} - \bar{I})^2}$

Когда количество информации  $I_{ij} > 0$  – *i*-й фактор способствует переходу объекта управления в *j*-е состояние, когда  $I_{ij} < 0$  – препятствует этому переходу, когда же  $I_{ij} = 0$  – никак не влияет на это. В векторе *i*-го фактора (строка матрицы информативностей) отображается, какое количество информации о переходе объекта управления в каждое из будущих состояний содержится в том факте, что данный фактор действует. В векторе *j*-го состояния класса (столбец матрицы информативностей) отображается, какое количество информации о переходе объекта управления в соответствующее состояние содержится в каждом из факторов.

Таким образом, матрица знаний (информативностей), приведенная в таблице 3.23, является обобщенной таблицей решений, в которой входы (факторы) и выходы (будущие состояния объекта управления) связаны друг с другом не с помощью классических (Аристотелевых) импликаций, принимающих только значения: "истина" и "ложь", а различными значениями истинности, выраженными в битах, и принимающими значения от положительного теоретически-максимально-возможного ("максимальная степень истинности"), до теоретически неограниченного отрицательного ("степень ложности"). Это позволяет автоматически формулировать прямые и опосредованные правдоподобные высказывания с расчетной степенью истинности.

Фактически предложенная модель позволяет осуществить синтез обобщенных таблиц решений для различных предметных областей непосредственно на основе эмпирических исходных данных и продуцировать прямые и обратные правдоподобные (нечеткие) логические рассуждения по неклассическим схемам с различными расчетными значениями истинности, являющимися обобщением классических импликаций.

Таким образом, данная модель позволяет рассчитать, какое количество информации содержится в любом факте о наступлении любого события в любой предметной области, причем для этого не требуется повторности этих

фактов и событий. Если данные повторности осуществляются и при этом наблюдается некоторая вариабельность значений факторов, обуславливающих наступление тех или иных событий, то модель обеспечивает многопараметрическую типизацию, т.е. синтез обобщенных образов классов или категорий наступающих событий с количественной оценкой степени и знака влияния на их наступление различных значений факторов. Причем эти значения факторов могут быть как количественными, так и качественными и измеряться в любых единицах измерения, в любом случае в модели оценивается количество информации, которое в них содержится о наступлении событий, переходе объекта управления в определенные состояния или, просто, о его принадлежности к тем или иным классам. Другие способы метризации приведены в работе [277] (таблица 3.24):

Таблица 3.24 – Частные критерии знаний, используемые в настоящее время в АСК-анализе и системе «Эйдос-Х++»

Наименование модели знаний и частный критерий	Выражение для частного критерия	
	через относительные частоты	через абсолютные частоты
<b>INF1</b> , частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу, 1-й вариант расчета относительных частот: $N_{\Sigma j}$ – суммарное количество признаков по $j$ -му классу. Относительная частота того, что если у объекта $j$ -го класса обнаружен признак, то это $i$ -й признак	$I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_{i\Sigma}}$	$I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{N_{ij} N_{\Sigma\Sigma}}{N_{i\Sigma} N_{\Sigma j}}$
<b>INF2</b> , частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу, 2-й вариант расчета относительных частот: $N_{\Sigma j}$ – суммарное количество объектов по $j$ -му классу. Относительная частота того, что если предъявлен объект $j$ -го класса, то у него будет обнаружен $i$ -й признак.	$I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_{i\Sigma}}$	$I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{N_{ij} N_{\Sigma\Sigma}}{N_{i\Sigma} N_{\Sigma j}}$
<b>INF3</b> , частный критерий: Хи-квадрат: разности между фактическими и теоретически ожидаемыми абсолютными частотами	---	$I_{ij} = N_{ij} - \frac{N_{i\Sigma} N_{\Sigma j}}{N_{\Sigma\Sigma}}$
<b>INF4</b> , частный критерий: ROI - Return On Investment, 1-й вариант расчета относительных частот: $N_{\Sigma j}$ – суммарное количество признаков по $j$ -му классу <sup>11</sup>	$I_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{i\Sigma}} - 1 = \frac{P_{ij} - P_{i\Sigma}}{P_{i\Sigma}}$	$I_{ij} = \frac{N_{ij} N_{\Sigma\Sigma}}{N_{i\Sigma} N_{\Sigma j}} - 1$
<b>INF5</b> , частный критерий: ROI - Return On Investment, 2-й вариант расчета относительных частот: $N_{\Sigma j}$ – суммарное количество объектов по $j$ -му классу	$I_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{i\Sigma}} - 1 = \frac{P_{ij} - P_{i\Sigma}}{P_{i\Sigma}}$	$I_{ij} = \frac{N_{ij} N_{\Sigma\Sigma}}{N_{i\Sigma} N_{\Sigma j}} - 1$
<b>INF6</b> , частный критерий: разность условной и безусловной относительных частот, 1-й вариант расчета относительных частот: $N_{\Sigma j}$ – суммарное количество признаков по $j$ -му классу	$I_{ij} = P_{ij} - P_{i\Sigma}$	$I_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{\Sigma j}} - \frac{N_{i\Sigma}}{N_{\Sigma\Sigma}}$
<b>INF7</b> , частный критерий: разность условной и безусловной относительных частот, 2-й вариант расчета относительных частот: $N_{\Sigma j}$ – суммарное	$I_{ij} = P_{ij} - P_{i\Sigma}$	$I_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{\Sigma j}} - \frac{N_{i\Sigma}}{N_{\Sigma\Sigma}}$

<sup>11</sup> Применение предложено Л.О. Макаревич

количество объектов по $j$ -му классу		
---------------------------------------	--	--

Обозначения:

$i$  – значение прошлого параметра;

$j$  – значение будущего параметра;

$N_{ij}$  – количество встреч  $j$ -го значения будущего параметра при  $i$ -м значении прошлого параметра;

$M$  – суммарное число значений всех прошлых параметров;

$W$  – суммарное число значений всех будущих параметров.

$N_{\Sigma i}$  – количество встреч  $i$ -м значения прошлого параметра по всей выборке;

$N_{\Sigma j}$  – количество встреч  $j$ -го значения будущего параметра по всей выборке;

$N_{\Sigma ij}$  – количество встреч  $j$ -го значения будущего параметра при  $i$ -м значении прошлого параметра по всей выборке.

$I_{ij}$  – частный критерий знаний: количество знаний в факте наблюдения  $i$ -го значения прошлого параметра о том, что объект перейдет в состояние, соответствующее  $j$ -му значению будущего параметра;

$\Psi$  – нормировочный коэффициент (Е.В.Луценко, 2002), преобразующий количество информации в формуле А.Харкевича в биты и обеспечивающий для нее соблюдение принципа соответствия с формулой Р.Хартли;

$P_{\Sigma i}$  – безусловная относительная частота встречи  $i$ -го значения прошлого параметра в обучающей выборке;

$P_{ij}$  – условная относительная частота встречи  $i$ -го значения прошлого параметра при  $j$ -м значении будущего параметра.

Все эти способы метризации с применением 7 частных критериев знаний (таблица 3.24) реализованы в системно-когнитивном анализе и интеллектуальной системе «Эйдос» и обеспечивают сопоставление градациям всех видов шкал числовых значений, имеющих смысл количества информации в градации о принадлежности объекта к классу. Поэтому является корректным применение интегральных критериев, включающих операции умножения и суммирования, для обработки числовых значений, соответствующих градациям шкал. Это позволяет единообразно и сопоставимо обрабатывать эмпирические данные, полученные с помощью любых типов шкал, применяя при этом все математические операции [277].

Частные критерии знаний, представленные в таблице 2.24 по сути, «являются формулами для преобразования абсолютных частот в количество информации и знания» (проф.В.И.Лойко, 2013). В будущем их предлагается дополнить критерием Г.Раша. Модель Г.Раша математически тесно связана с моделью логитов, предложенной в 1944 году Джозефом Берксоном (*Joseph Berkson*) и здесь мы ее не приводим, т.к. она подробно описана в литературе. Модель Г.Раша (с учетом ее модификаций) является чуть ли не единственной широко известной в настоящее время моделью метризации измерительных шкал.

**Информационный портрет класса** – это список значений факторов, ранжированных в порядке убывания силы их влияния на переход объекта управления в состояние, соответствующее данному классу. Информационный портрет класса отражает систему его детерминации. Генерация информационного портрета класса представляет собой решение обратной задачи прогнозирования, т.к. при прогнозировании по системе факторов определяется спектр наиболее вероятных будущих состояний объекта управления, в которые он может перейти под влиянием данной системы факторов, а в информационном портрете мы, наоборот, по заданному будущему состоянию объекта управления определяем систему факторов, детерминирующих это состояние, т.е. вызывающих переход объекта управления в это состояние. В начале информационного портрета класса идут факторы, оказывающие положительное влияние на переход объекта управления в заданное состояние, затем факторы, не оказывающие на это существенного влияния, и далее – факторы, препятствующие переходу объекта управления в это состояние (в порядке возрастания силы препятствования). Информационные портреты классов могут быть от *отфильтрованы* по диапазону факторов, т.е. мы можем отобразить влияние на переход объекта управления в данное состояние не всех отраженных в модели факторов, а только тех, коды которых попадают в определенный диапазон, например, относящиеся к определенным описательным шкалам.

**Информационный (семантический) портрет фактора** – это список классов, ранжированный в порядке убывания силы влияния данного фактора на переход объекта управления в состояния, соответствующие данным классам. Информационный портрет фактора называется также его *семантическим портретом*, т.к. в соответствии с концепцией смысла системно-когнитивного анализа, являющейся обобщением концепции смысла Шенка-Абельсона [149], *смысл фактора состоит в том, какие будущие состояния объекта управления он детерминирует или обуславливает*. Сначала в этом списке идут состояния объекта управления, на переход в которые данный фактор оказывает наибольшее влияние, затем состояния, на которые данный фактор не оказывает существенного влияния, и далее состояния – переходу в которые данный фактор препятствует. Информационные портреты факторов могут быть от *отфильтрованы* по диапазону классов, т.е. мы можем отобразить влияние данного фактора на переход объекта управления не во все возможные будущие состояния, а только в состояния, коды которых попадают в определенный диапазон, например, относящиеся к определенным классификационным шкалам.

*Прямые и обратные, непосредственные и опосредованные правдоподобные логические рассуждения с расчетной степенью истинности в системной теории информации.* Одним из первых ученых, поднявших и широко обсуждавшим в своих работах проблематику правдоподобных рассуждений, был известный венгерский, швейцарский и американский

математик Дьердь Пойа<sup>12</sup>, книги которого одному из авторов (тому, который потом стал профессором Е.В.Луценко) подарил еще в школе его учитель математики М.И. Перевалов (см. также раздел «Формализация логики правдоподобных рассуждений Д. Пойа», глава третья, параграф 7, с.158-163, исходящий из (репрезентативной) теории измерений).

В работе [97] предложена логическая форма представления правдоподобных логических рассуждений с расчетной степенью истинности, которая определяется в соответствии с системной теорией информацией непосредственно на основе эмпирических данных.

В качестве количественной меры влияния факторов, предложено использовать обобщенную формулу А.Харкевича, полученную на основе предложенной эмерджентной теории информации. При этом непосредственно из матрицы абсолютных частот рассчитывается база знаний (таблица 2.1), которая и представляет собой основу содержательной информационной модели предметной области.

Весовые коэффициенты табл.1 непосредственно определяют, какое количество информации  $I_{ij}$  система управления получает о наступлении события: "активный объект управления перейдет в  $j$ -е состояние", из сообщения: "на активный объект управления действует  $i$ -й фактор".

Принципиально важно, что эти весовые коэффициенты не определяются экспертами неформализуемым способом на основе интуиции и профессиональной компетенции (т.е., мягко говоря, «на глазок»), а рассчитываются непосредственно на основе эмпирических данных и удовлетворяют всем ранее обоснованным в работе [97] требованиям, т.е. являются сопоставимыми, содержательно интерпретируемыми, отражают понятия "достижение цели управления" и "мощность множества будущих состояний объекта управления" и т.д.

В [97] обосновано, что предложенная информационная мера обеспечивает сопоставимость индивидуальных количеств информации, содержащейся в факторах о классах, а также сопоставимость интегральных критериев, рассчитанных для одного объекта и разных классов, для разных объектов и разных классов.

Когда количество информации  $I_{ij} > 0$  –  $i$ -й фактор способствует переходу объекта управления в  $j$ -е состояние, когда  $I_{ij} < 0$  – препятствует этому переходу, когда же  $I_{ij} = 0$  – никак не влияет на это. В векторе  $i$ -го фактора (строка матрицы информативностей) отображается, какое количество информации о переходе объекта управления в каждое из будущих состояний содержится в том факте, что данный фактор действует. В векторе  $j$ -го состояния класса (столбец матрицы информативностей) отображается, какое количество информации о переходе объекта управления в соответствующее состояние содержится в каждом из факторов.

Таким образом, матрица информативностей (табл.1) является обобщенной таблицей решений, в которой входы (факторы) и выходы

---

<sup>12</sup> См., например: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Пойа.%20Дьердь>

(будущие состояния активного объекта управления (АОУ) связаны друг с другом не с помощью классических (Аристотелевских) импликаций, принимающих только значения: "Истина" и "Ложь", а *различными значениями истинности, выраженными в битах* и принимающими значения от положительного теоретически-максимально-возможного ("Максимальная степень истинности"), до теоретически неограниченного отрицательного ("Степень ложности").

Фактически предложенная модель позволяет осуществить синтез обобщенных таблиц решений для различных предметных областей непосредственно на основе эмпирических исходных данных и продуцировать на их основе прямые и обратные правдоподобные (нечеткие) логические рассуждения по неклассическим схемам с различными расчетными значениями истинности, являющимся обобщением классических импликаций (таблица 3.25):

Таблица 3.25 – Прямые и обратные правдоподобные логические высказывания с расчетной в соответствии с системной теорией информации (СТИ) степенью истинности импликаций

	Прямые высказывания:	Обратные высказывания
1	<b>если <math>A</math>, то <math>B</math></b> (если действует фактор $A$ , то мы предполагаем с степенью истинности $I_{AB}$ , что АОУ перейдет в состояние $B$ )	<b>если <math>B</math>, то <math>A</math></b> (если АОУ перешел в состояние $B$ , то мы предполагаем с степенью истинности $I_{AB}$ , что действовал фактор $A$ )
2	<b>если <math>A_1</math> и <math>A_2 \dots</math> и <math>A_m</math>, то <math>B</math></b> (прогноз влияния системы факторов на поведение АОУ. Степень истинности обобщающей (итоговой) импликации равна алгебраической сумме истинностей составляющих ее элементарных импликаций вида: "если $A$ то $B$ ")	<b>если <math>B</math>, то <math>A_1</math> и <math>A_2 \dots</math> и <math>A_m</math></b> (информационный портрет класса $B$ , т.е. влияние различных факторов $A_i$ на переход АОУ в будущее состояние $B$ , решение обратной задачи прогнозирования, т.е. выработка управления)
3	<b>если <math>A</math>, то <math>B_1</math> или <math>B_2 \dots</math> или <math>B_w</math></b> (семантический портрет фактора $A$ , т.е. его влияние на переход АОУ в различные состояния)	
4	<b>если <math>A_1</math> и <math>A_2 \dots</math> и <math>A_m</math>, то <math>B_1</math> или <math>B_2 \dots</math> или <math>B_w</math></b> (прогноз влияния системы факторов на переход АОУ в различные состояния)	

Приведем пример более сложного высказывания, которое может быть рассчитано непосредственно на основе матрицы информативностей – обобщенной таблицы решений (таблица 2.22):

Если  $A$ , со степенью истинности  $\alpha(A,B)$ , детерминирует  $B$ , и если  $C$ , со степенью истинности  $\alpha(C,D)$ , детерминирует  $D$ , и  $A$  совпадает по смыслу с  $C$  со степенью истинности  $\alpha(A,C)$ , то это вносит вклад в совпадение  $B$  с  $D$ , равный степени истинности  $\alpha(B,D)$ .

При этом в прямых рассуждениях как предпосылки рассматриваются факторы, а как заключение – будущие состояния АОУ, а в обратных – наоборот: как предпосылки – будущие состояния АОУ, а как заключение – факторы. Степень истинности  $i$ -й предпосылки – это просто количество информации  $I_{ij}$ , содержащейся в ней о наступлении  $j$ -го будущего состояния

АОУ. Если предпосылок несколько, то степень истинности наступления  $j$ -го состояния АОУ равна суммарному количеству информации, содержащемуся в них об этом. Количество информации в  $i$ -м факторе о наступлении  $j$ -го состояния АОУ, рассчитывается в соответствии с выражениями системной теории информации (СТИ).

Прямые правдоподобные логические рассуждения позволяют прогнозировать степень достоверности наступления события по действующим факторам, а обратные – по заданному состоянию восстановить степень необходимости и степень нежелательности каждого фактора для наступления этого состояния, т.е. принимать решение по выбору управляющих воздействий на АОУ, оптимальных для перевода его в заданное целевое состояние.

Приведем простой пример, когда безупречная классическая бинарная логика Аристотеля дает сбой. Рассмотрим высказывания:

А) если студент хорошо сдал экзамен по информационным системам, значит, он умеет хорошо программировать;

Б) если студент умеет хорошо программировать, то он может стать специалистом в области прикладной информатики.

Откуда средами логики предикатов получаем вывод:

В) если студент хорошо сдал экзамен по информационным системам, то он может стать специалистом в области прикладной информатики.

Если при рассмотрении каждого высказывания «А» и «Б» по отдельности у нас не возникает особых возражений, хотя мы сразу чувствуем здесь какой-то подвох, что это не совсем так или не всегда так и легко можем привести вполне реальные примеры, когда эти высказывания могут быть и ложными. то высказывание «В» уже само по себе выглядит очень сомнительным, т.е. проще говоря ложным, тогда как в логике предикатов оно является истинным. Интуитивно мы хорошо понимаем, почему так получается. Дело в том, что в этих высказываниях не отражен *контент*, т.е. та огромная слабо формализованная и вообще неформализованная информация об объекте моделирования, которой располагает человек, но не располагает логическая система. Например, в этих двух логических высказываниях не отражена информация, которой располагает каждый преподаватель и студент, о том, каким образом иногда сдаются экзамены, когда оценка вообще никак не зависит от знаний. Иначе говоря, чтобы эти высказывания были истинны необходимо, чтобы оценка определялась только знаниями. Но и этого мало. Предполагается, что факт получения хорошей оценки по дисциплине означает *полное* ее освоение, хотя все понимают, что для этого достаточно освоения только тех вопросов, которые были в билете и были заданы преподавателем.

При решении этой же задачи средами АСК-анализа мы формулируем эти высказывания *в форме правдоподобных рассуждений*:

А) если студент хорошо сдал экзамен по информационным системам, то в этом факте содержится  $I(A)$  информации о том, что он умеет хорошо программировать;



Б) если студент умеет хорошо программировать, то в этом факте содержится  $I(B)$  информации о том он может стать специалистом в области прикладной информатики.

Откуда средами АСК-анализа получаем результирующее высказывание:

В) если студент хорошо сдал экзамен по информационным системам, то в этом факте содержится  $I(B)$  информации о том он может стать специалистом в области прикладной информатики.

Это высказывание не выглядит как истинное или ложное и может быть и истинным, и ложным, причем в различной степени, в зависимости от знака и модуля расчетной его степени истинности  $I(B)$ . Для расчета этой величины нужны конкретные эмпирические данные, являющиеся репрезентативными для отражения определенной предметной области (генеральной совокупности), в которой этот вывод и будет иметь эти значения знака и величины степени истинности.

Необходимо отметить, что предложенная модель, основывающаяся на теории информации, обеспечивает автоматизированное формирование системы нечетких правил по содержимому входных данных, как и комбинация нечеткой логики Заде-Коско с нейронными сетями Кохонена. Принципиально важно, что качественное изменение модели путем добавления в нее новых классов не уменьшает достоверности распознавания уже сформированных классов. Кроме того, при сравнении распознаваемого объекта с каждым классом учитываются не только признаки, имеющиеся у объекта, но и отсутствующие у него, поэтому предложенной моделью правильно идентифицируются объекты, признаки которых образуют множества, одно из которых является подмножеством другого (как и в Неокогнитроне К.Фукушимы).

### 2.3.3 Информационные меры уровня системности - коэффициенты эмерджентности, вытекающие из системной теории информации

Дальнейшее изложение основано на работах [98, 170, 270, 240, 241]. В работе [97] и работе [170] предлагаются теоретически обоснованные количественные меры, следующие из системной теории информации (СТИ), которые позволяют количественно оценивать влияние факторов на системы различной природы не по силе и направлению изменения состояния системы, а по степени возрастания или уменьшения ее эмерджентности (уровня системности) и степени детерминированности.

В работе [253] на простом численном примере рассматривается применение автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ) и его программного инструментария – интеллектуальной системы «Эйдос» для выявления и исследования детерминации эмерджентных макросвойств систем их составом и иерархической структурой, т.е. подсистемами различной сложности (уровней иерархии). Кратко обсуждаются некоторые методологические вопросы создания и применения

формальных моделей в научном познании. Предложены системное обобщение принципа Уильяма Росса Эшби о необходимом разнообразии на основе системного обобщения теории множеств и системной теории информации, обобщенная формулировка принципа относительности Галилея-Эйнштейна, высказана гипотеза о его взаимосвязи с теоремой Эмми Нётер, а также предложена гипотеза «О зависимости силы и направления связей между базовыми элементами системы и ее эмерджентными свойствами в целом от уровня иерархии в системе»

В [270] предложены коэффициенты эмерджентности, применимые для систем, подчиняющихся классической или квантовой статистике. Дан алгоритм оценки уровня системности квантовых объектов. Рассмотрены квантовые системы, подчиняющиеся статистике Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна, а также классические системы, подчиняющиеся статистике Максвелла-Больцмана. Установлено, что коэффициенты эмерджентности квантовых и классических систем отличаются между собой, как и коэффициенты квантовых систем ферми-частиц и бозе-частиц. Следовательно, коэффициент эмерджентности позволяет отличить классическую систему от квантовой системы, а квантовую систему ферми-частиц от квантовой системы бозе-частиц. Установлено также, что предложенные ранее в ряде работ, начиная с [97], различные варианты коэффициентов эмерджентности Хартли распространяются только на системы, подчиняющиеся статистике Ферми-Дирака.

Рассмотрим результаты этих работ подробнее.

### ***2.3.3.1 Количественные меры возрастания эмерджентности в процессе эволюции систем (в рамках системной теории информации)***

Дальнейшее изложение основано на работе [170], нумерация формул, рисунков и таблиц сохранены.

Одного взгляда на Вселенную на всех ее структурных уровнях организации, начиная с микромира с его квантами, элементарными частицами и атомами и до макро- и мега масштабов, достаточно, чтобы убедиться, что Вселенная глубоко структурирована и состоит из глобально и нелокально взаимосвязанных систем различного масштаба, все свойства которых имеют эмерджентную природу, и во Вселенной ни на одном из уровней ее организации не наблюдается ничего похожего на унылую картину "Тепловой смерти". Сегодня уже совершенно очевидно, что закон возрастания энтропии (2-е начало термодинамики) является сильнейшей абстракцией и по сути во всей Вселенной нет ни одной системы, которая ему бы абсолютно точно и в полной мере соответствовала, т.к. не существует полностью изолированных от окружающей среды систем (адиабатически замкнутых систем, т.е. систем, энергетически не взаимодействующих со средой). Более того, если бы такие системы и существовали, то мы бы об этом никогда в принципе не узнали бы, т.к. не получили бы о них никакой

информации, поэтому можно сказать еще и иначе: такие системы скорее относятся не к области бытия, а к области небытия.

Но для существования любой системы или подсистемы необходим системообразующий фактор и, естественно, возникает вопрос о том, что же является глобальным и нелокальным системообразующим фактором, общим для всех систем.

Это вопрос необычайной важности, так как именно этот фактор противодействует возрастанию энтропии на всех уровнях организации систем во Вселенной. Без действия этого фактора, т.е. если бы закон возрастания энтропии действительно был всеобщим законом природы, каковым его хотели некогда представить те самые французские академики, которые заодно запретили и существование метеоритов, то Вселенная была бы совершенно однородна (хаос или небытие, "Тепловая смерть") и об этом бы вообще некому и негде было бы рассуждать.

Из термодинамических представлений ясно, что этот глобальный нелокальный антиэнтропийный системообразующий фактор может быть отождествлен с некоторым источником энергии или информации, которые как известно взаимосвязаны в любой конкретной системе через ее энтропию. Каждая система во Вселенной (пока она существует) должна иметь прямой и непосредственный контакт с этим фактором и как только этот контакт прекращается – система распадается на подсистемы или элементы. Поэтому этот фактор должен быть не внешним, а *внутренним* по отношению к системам, а также обладать *глобальностью* и *нелокальностью*, возможно даже не только в пространстве, но и во времени (на эти мысли наталкивает анализ возможных механизмов принципа наименьшего действия, траекторной формулировки и опережающих потенциалов в КТП). Физической основой этого фактора может быть квантовое единство, которое существует с момента возникновения самого метрического пространства-времени еще с единого квантового состояния Вселенной-в-Целом до Большого Взрыва, с которого и начался процесс последовательной иерархической дифференциации. Сам физический механизм нелокального взаимодействия дифференцированной структуры системы с ее единой сущностью может быть аналогичным тому, который был предвосхищен А.Эйнштейном в известном парадоксе ЭПР.

Если этот фактор научиться сознательно использовать, то возможно будут решены энергетические и другие связанные с ними проблемы.

Таким образом на наш взгляд этот глобальный и нелокальный системообразующий фактор – это энергия и информация идущие к каждой системе из неизменной нелокальной сущности Вселенной, из того его состояния, которое оставаясь неизменным породило всю эту дифференцированную Вселенную, это состояние, которое есть лишенное частей единство в сущности каждой системы. Это не какое-либо место или время – это наиболее фундаментальный структурный уровень организации Вселенной – лишенная всех качеств основа всех качеств (предполагается, что все качества эмерджентны по своей природе). Возможно после Большого

Взрыва Вселенная стала дифференцированной лишь по своей форме не изменяясь в своей единой и неделимой сущности, т.е. не переставая быть единой без частей ... и это непроявленное состояние есть ни что иное как неделимая сущность каждой системы и подсистемы во Вселенной ... причем она одна и та же у всех систем и внутри осознается как Сущность субъективности, а во вне – как сущность материи...

Похоже Никола Тесла был не просто гениальным ученым, инженером и изобретателем, а скорее Пророком технической эры, который понял с точки зрения физики что такое этот глобальный нелокальный системообразующий фактор и научился осознанно включать в его состав своих технических систем. До этого нечто подобное удавалось только музыкантам, художникам, скульпторам и архитекторам, а теперь похоже приближается время и программистов, прежде всего специалистов по системам искусственного интеллекта, виртуальной реальности и моделированию эволюции.

Итак, в самом общем виде существование систем во Вселенной можно объяснить тем, что существует некий гипотетический фактор, успешно противодействующий возрастанию энтропии на всех уровнях организации систем во Вселенной. Но что это за фактор и как влияют его свойства на характеристики систем? Попробуем конкретизировать ответы на эти вопросы.

Из общепринятого представления о том, что количество информации может быть измерено величиной уменьшения энтропии следует гипотеза о том, что *этот антиэнтропийный системообразующий фактор представляет собой некий источник информации.* Этот источник информации, обеспечивающий возникновение и существование системы, может локализоваться как внутри, так и вне ее, но реально осуществляется смешанный вариант.

В этом процессе формирования и развития системы под влиянием как внутренних, так и внешних информационных по своему существу факторов она претерпевает количественные и качественные изменения, т.е. проходит точки бифуркации и детерминистские участки траектории [97], в частности изменяются такие фундаментальные характеристики системы, как ее уровень системности и степень детерминированности.

Учитывая информационный характер антиэнтропийного системообразующего фактора предлагается применить теорию информации для количественной оценки этих фундаментальных характеристик систем.

Однако классическая теория информации не совсем подходит для этой цели, т.к. она основана на теории множеств, а не на теории систем. В работе [186] предлагается *программная идея* системного обобщения понятий математики, в частности понятий теории информации, основанных на теории множеств, путем замены понятия множества на более содержательное понятие системы. Частично эта идея была реализована в работе [97] при разработке автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализа), математическая модель которого основана на системном

обобщении формул для количества информации Хартли и Харкевича в рамках предложенной **системной теории информации (СТИ)**.

Система представляет собой *множество элементов*, объединенных в целое за счет *взаимодействия* элементов друг с другом, т.е. за счет *отношений* между ними, и обеспечивает преимущества в достижении *целей*. Преимущества в достижении целей обеспечиваются за счет *системного эффекта*. Системный эффект состоит в том, что свойства системы *не сводятся* к сумме свойств ее элементов, т.е. система как целое обладает рядом *новых, т.е. эмерджентных* свойств, которых не было у ее элементов. Предполагается, что во Вселенной не существует элементов не являющихся системами. Таким образом все свойства любых систем в конечном счете являются эмерджентными. Уровень системности тем выше, чем выше *интенсивность взаимодействия* элементов системы друг с другом, чем сильнее отличаются свойства системы от свойств входящих в нее элементов, т.е. **чем выше системный эффект, тем значительно отличается система от множества.**

Таким образом, *система обеспечивает тем большие преимущества в достижении целей, чем выше ее уровень системности*. В частности, *система с нулевым уровнем системности вообще ничем не отличается от множества образующих ее элементов, т.е. тождественна этому множеству и никаких преимуществ в достижении целей не обеспечивает*. **Этим самым достигается выполнение принципа соответствия между понятиями системы и множества.** Из соблюдения этого принципа для понятий множества и системы следует и его соблюдение для понятий системной теории информации, основанных на теории множеств и их системных обобщений.

На этой основе можно ввести и новое научное понятие: понятие "антисистемы", применение которого оправдано в случаях, когда централизация (монополизация, интеграция) не только не дает положительного эффекта, но даже сказывается отрицательно.

*Антиподсистемой* будем называть подсистему, включение которой в некоторую систему уменьшает ее уровень системности, т.е. это такое объединение некоторого множества элементов за счет их взаимодействия в целое, которое *препятствует* достижению целей системы в целом.

Фундаментом современной математики является теория множеств. Эта теория лежит и в основе самого глубокого на сегодняшний день обоснования таких базовых математических понятий, как "число" и "функция". Определенный период этот фундамент казался незыблемым. Однако вскоре работы целой плеяды выдающихся ученых XX века, прежде всего Давида Гильберта, Бертрانا Рассела и Курта Гёделя, со всей очевидностью обнажили фундаментальные логические и лингвистические проблемы, в частности проявляющиеся в форме парадоксов теории множеств, что, в свою очередь, привело к появлению ряда развернутых предложений по пересмотру самых глубоких оснований математики.

В задачи данной работы не входит рассмотрение этой интереснейшей проблематики, а также истории возникновения и развития понятий числа и функции. Отметим лишь, что кроме рассмотренных в литературе вариантов *существует возможность обобщения всех понятий математики, базирующихся на теории множеств, в частности теории информации, путем тотальной замены понятия множества на более общее понятие системы и тщательного отслеживания всех последствий этой замены.* Это утверждение будем называть "**программной идеей системного обобщения понятий математики**".

Строго говоря, реализация данной программной идеи потребует прежде всего системного обобщения самой теории множеств и преобразования ее в *математическую теорию систем, которая будет плавно переходить в современную теорию множеств при уровне системности, стремящемся к нулю.* При этом необходимо заметить, что существующая в настоящее время наука под названием "Теория систем" ни в коей мере не является обобщением математической теории множеств, и ее не следует путать с математической теорией систем. Вместе с тем, на наш взгляд, существуют некоторые возможности обобщения ряда понятий математики и без разработки математической теории систем. К таким понятиям относятся прежде всего понятия "информация" и "функция".

Системному обобщению понятия информации посвящены работы автора [97] и др., поэтому здесь на этом вопросе мы останавливаться не будем. Отметим лишь, что на основе предложенной системной теории информации (СТИ) были разработаны математическая модель и методика численных расчетов (структуры данных и алгоритмы), а также специальный программный инструментарий (система "Эйдос") системно-когнитивного анализа (СК-анализ), который представляет собой системный анализ, автоматизированный путем его рассмотрения как метода познания и структурирования по базовым когнитивным операциям.

В СК-анализе теоретически обоснована и реализована на практике в форме конкретной информационной технологии процедура установления новой универсальной, сопоставимой в пространстве и времени, ранее не используемой *количественной*, т.е. выражаемой числами, меры *соответствия* между событиями или явлениями любого рода, получившей название "системная мера целесообразности информации", которая по существу является *количественной мерой знаний* [245]. Это является достаточным основанием для того, чтобы называть эту форму системного анализа системно-когнитивным анализом, от английского слова "*cognition*" – "познание".

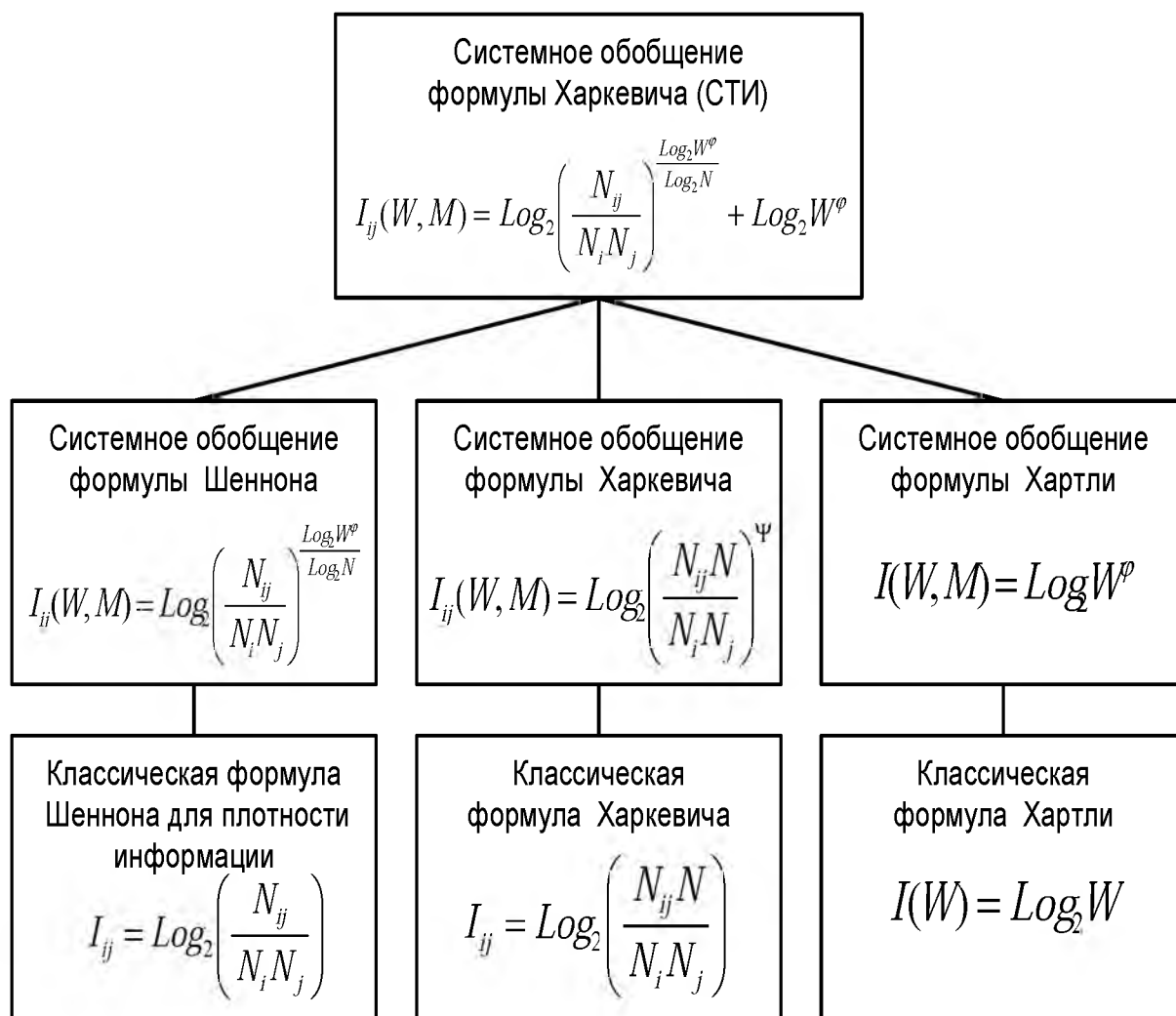
В результате получены следующие выражения для системных обобщений формул для количества информации Хартли и Харкевича и плотности информации Шеннона, а также гипотезы о законе возрастания эмерджентности и аналитические выражения для коэффициентов Хартли и Харкевича (рисунки 3.11-3.13).

Резюмируя рисунки 3.11-3.13 заметить, что в процессе эволюции систем есть по крайней мере два этапа:

– на 1-м этапе идет *экстенсивный* рост системы путем увеличения количества ее элементов; при этом объем информации в системе возрастает в основном за счет увеличения размера системы и количества элементов в ней;

– на 2-м этапе идет система развивается *интенсивно* за счет усложнения взаимосвязей между элементами и своей структуры; при этом объем информации в системе возрастает в основном за счет ее усложнения, т.е. повышения уровня системности или эмерджентности системы.

Так, например, управлять толпой из 729 человек значительно сложнее, чем воздушно-десантным полком той же численности. Процесс превращения 729 новобранцев в воздушно-десантный полк это и есть процесс повышения уровня системности и степени детерминированности системы. Этот процесс включает процесс последовательного иерархического структурирования (на отделения, взвода, роты, батальоны), а также процесс



**Коэффициент эмерджентности Харкевича (характеризует детерминированность системы):**

$$\Psi = \frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}$$

**Коэффициент эмерджентности Хартли (характеризует "эффект системы"):**

$$\varphi = \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log}_2 W}$$

**ОБОЗНАЧЕНИЯ:**

W - количество классов (мощность множества будущих состояний объекта управления)

M - максимальный уровень сложности смешанных состояний объекта управления

N<sub>ij</sub> - суммарное количество встреч i-го фактора у объектов, перешедших в j-е состояние

N<sub>j</sub> - суммарное количество встреч различных факторов у объектов, перешедших в j-е состояние

N<sub>i</sub> - суммарное количество встреч i-го фактора у всех объектов

N - суммарное количество встреч различных факторов у всех объектов

C<sub>W</sub><sup>m</sup> - количество сочетаний из W по m

Рисунок 3.11 – Системное обобщение формул для количества информации

процесс повышения степени детерминированности команд путем повышения дисциплины их исполнения путем соответствующих организующих воздействий. *Эффективность этих организующих воздействий мы и предлагаем оценивать по изменению уровня системности и степени*



*детерминированности с помощью коэффициентов эмерджентности, названных нами [97] в честь выдающихся ученых, внесших огромный вклад в создание теории информации Хартли и Харкевича.*

**Рассмотрим численный пример.** В работе [100] в разделе: "1.2.2.2.3. Конструирование системной численной меры на основе базовой", подразделе: "Системное обобщение формулы Хартли для количества информации", который размещен по адресу: [http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos06\\_lect/lec\\_04.htm](http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos06_lect/lec_04.htm) приведено выражение для коэффициента эмерджентности Хартли (у нас это формула (3.13))

$$I_s = \text{Log}_2 N_s = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^n C_n^m \quad (3.33)$$

где:  $W$  – количество элементов в системе альтернативных будущих состояний АОУ (количество чистых состояний);

$m$  – сложность подсистемы (количество элементов 1-го уровня иерархии в подсистеме);

$M$  – максимальная сложность подсистем (количество элементов 1-го уровня иерархии в системе).

*Непосредственно из вида выражения для коэффициента эмерджентности Хартли (3.13) ясно, что он представляет собой относительное превышение количества информации о системе при учете системных эффектов (смешанных состояний, иерархической структуры ее под-систем и т.п.) над количеством информации без учета системности, т.е. этот коэффициент отражает уровень системности объекта.*

Необходимо отметить, что сходное выражение было предложено видным исследователем в области информационной теории систем А.А. Денисовым еще в 80-х годах<sup>13</sup>, однако свое теоретическое обоснование это выражение получило лишь в рамках СТИ. Очень близкие идеи развиваются также в фундаментальных работах<sup>14</sup> (см., например, раздел: "2.6. Эволюционная динамика и эмерджентность" в работе Попова В.П.).

Первое слагаемое в выражении (1) дает количество информации по классической формуле Хартли, а остальные слагаемые – *дополнительное количество информации, получаемое за счет системного эффекта, т.е. за счет наличия у системы иерархической структуры или смешанных состояний. По сути дела эта дополнительная информация является информацией об иерархической структуре системы, как состоящей из ряда подсистем различных уровней сложности.*

---

<sup>13</sup> Денисов А.А. Информационные основы управления. –Л.: Энергоатомиздат, 1983. –72 с.  
Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления.–Л.: Энергоатомиздат, 1982.–287 с.

<sup>14</sup> Крайнюченко И. В., Попов В. П. Системное мировоззрение. Теория и анализ. Учебник для вузов. – Пятигорск.: ИНЭУ, 2005. – 218 с.  
Попов В.П. Глобальный эволюционизм и синергетика ноосферы / В.П. Попов и И.В. Крайнюченко. - науч. изд.. - Ростов-на-Дону : ГНУ СКНЦ ВШ, 2003 . - 333 с.

Однако реально в любой системе осуществляются не все формально возможные сочетания элементов 1-го уровня иерархии, т.к. существуют различные **правила запрета**, различные для разных систем. Это означает, что возможно множество различных систем, состоящих из одинакового количества тождественных элементов, и отличающихся своей структурой, т.е. строением подсистем различных иерархических уровней. Эти различия систем как раз и возникают благодаря различию действующих для них этих правил запрета. По этой причине *систему правил запрета предлагается назвать информационным проектом системы*. Различные системы, состоящие из равного количества одинаковых элементов (например, дома, состоящие из 20000 кирпичей), отличаются друг от друга именно по причине различия своих информационных проектов.

Из статистики известно, что при  $M=W$ :

$$\sum_{m=1}^M C_W^m = 2^W - 1 \quad (3.33)$$

в этом случае для выражения (3.1) получаем:

$$I = \text{Log}_2(2^W - 1) \quad (3.34)$$

Выражение (3.34) дает *оценку максимального количества информации*, которое может содержаться в элементе системы с учетом его вхождения в различные подсистемы ее структуры. Из этого выражения видно, что *I быстро* стремится к  $W$  при увеличении  $W$ :

$$\begin{aligned} \text{при } W &\rightarrow \infty \\ I &\rightarrow W \end{aligned} \quad (3.35)$$

В действительности уже при  $W > 4$  погрешность выражения (3.4) не превышает 1%, поэтому на практике в большинстве случаев при оценке величины теоретически максимально-возможного значения уровня системности не будет большой ошибкой вместо суммы числа сочетаний использовать просто  $W$ .

Таким образом, **коэффициент эмерджентности Хартли отражает уровень системности объекта и изменяется от 1 (системность минимальна, т.е. отсутствует) до величины  $\boxed{W/\text{Log}_2 W}$  (системность максимальна)**. Очевидно, для каждого количества элементов системы существует свой **максимальный уровень системности**, который никогда реально не достигается из-за действия **правил запрета** на реализацию в системе ряда подсистем различных уровней иерархии.

Будем считать, что полк является системой, имеющей иерархическую структуру (такие системы являются наиболее распространенными).

Если в толпе из 729 (или любого другого количества  $W$ ) новобранцев (элементов 1-го уровня иерархии) нет ни одного командира, то ее уровень системности согласно выражения (3.1) равен 1:

$$\varphi = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\log_2 W} = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^1 C_W^m}{\log_2 W} = \frac{\log_2 C_W^1}{\log_2 W} = \frac{\log_2 W}{\log_2 W} = 1 \quad (3.36)$$

Если в полку появляется командир полка, непосредственно (напрямую) дающий указания каждому из солдат (что вообще-то достаточно проблематично реализовать на практике), то появляется еще 729 *дополнительных* элементов 2-го уровня иерархии вида: "Командир полка + N-й солдат". В этом случае выражение (3.13) примет вид (3.37):

$$\varphi = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\log_2 W} = \frac{\log_2 (729 + 729)}{\log_2 729} = 1,10515 \quad (3.37)$$

Но в реальном полку используется не двухуровневая, а многоуровневая иерархическая система управления, т.к. командир полка и любой другой командир из-за информационных, пространственных и временных ограничений реально может отдать конкретный детализированный приказ только очень ограниченному количеству нижестоящих командиров – системообразующих элементов следующего уровня иерархии. Рассмотрим структуру условного полка, приведенную на рисунке 3.12.

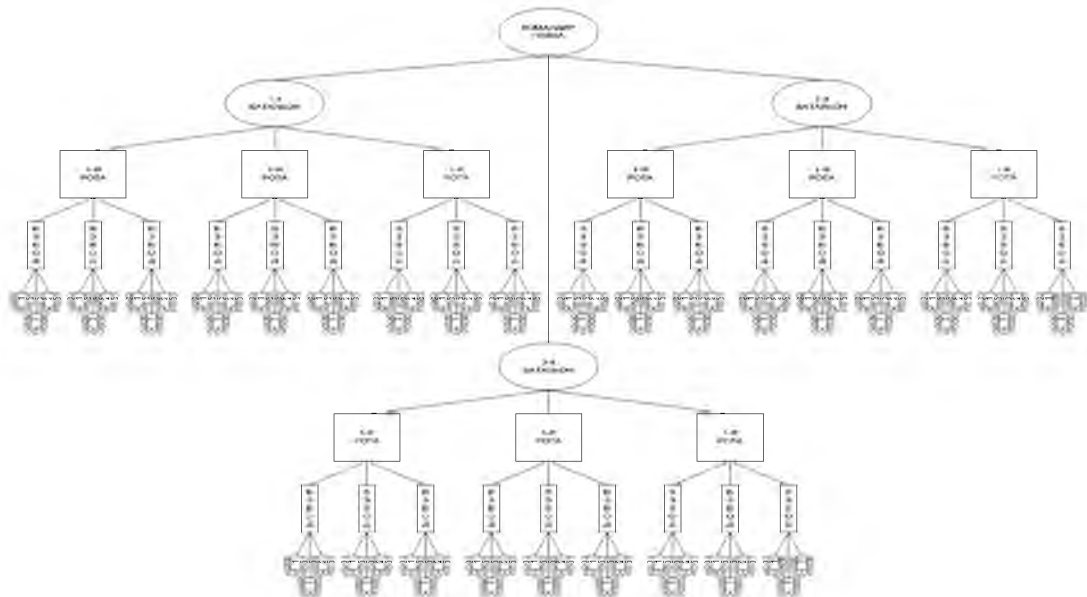


Рисунок 2.12 - Иерархическая система управления полком (условно)

Проведем расчет уровня системности полка, иерархическая структура которого приведена на рисунке 2.14 с использованием формулы (2.5). При этом обращаем внимание на то обстоятельство, что приведенная иерархическая структура близка к фрактальной. По-видимому это не случайно, т.к. является одной из наиболее рациональных схем управления.

**1-й уровень иерархии:** 729 солдат. Уровень системности полка на 1-м уровне иерархии, как мы уже видели из формулы (5) равна 1.

**2-й уровень иерархии:** 81 отделение по 9 солдат в каждом. Добавление командиров отделений порождает в каждом из 81 отделений 9 элементов вида: "Командир i-го отделения + j-й солдат". Уровень системности полка на первых двух уровнях вычисляется по формуле (3.38).

$$\varphi = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\log_2 W} = \frac{\log_2 (729 + 81 \times 9)}{\log_2 729} = 1,10515 \quad (3.38)$$

Здесь необходимо отметить, что структурный элемент "отделение", как и подсистемы других уровней иерархии, рассматривается не как неделимые элементы, а именно как подсистемы, сами имеющие определенный уровень системности, определяемый их структурой. Возможны и другие подходы, рассматривающие подсистемы как элементы без учета их внутренней структуры, т.е. не учитывающие различное в общем случае содержание подсистем, но в данной работе они не рассматриваются. Вместе с тем приведенные выше аналитические выражения для коэффициентов эмерджентности имеют общий характер и применимы и в этом случае.

**3-й уровень иерархии:** 27 взводов по 3 отделения в каждом. Добавление командиров взводов порождает в каждом из 27 взводов по 3 элемента вида: "Командир i-го взвода + командир j-го отделения". Уровень системности полка на первых трех уровнях вычисляется по формуле (3.39).

$$\varphi = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\log_2 W} = \frac{\log_2 (729 + 81 \times 9 + 27 \times 3)}{\log_2 729} = 1,11336 \quad (3.39)$$

**4-й уровень иерархии:** 9 рот по 3 взвода в каждой. Добавление командиров рот порождает в каждой из 9 рот по 3 элемента вида: "Командир i-й роты + командир j-го взвода".

$$\varphi = \frac{\log_2 (729 + 81 \times 9 + 27 \times 3 + 9 \times 3)}{\log_2 729} = 1,11600 \quad (3.40)$$

**5-й уровень иерархии:** 3 батальона по 3 роты в каждом. Добавление командиров батальонов порождает в каждом из 3 батальонов по 3 элемента вида: "Командир i-го батальона + командир j-й роты".

$$\varphi = \frac{\log_2 (729 + 81 \times 9 + 27 \times 3 + 9 \times 3 + 3 \times 3)}{\log_2 729} = 1,11687 \quad (3.41)$$

**6-й уровень иерархии:** 1 командир полка. Добавление командира полка порождает 3 элемента вида: "Командир полка + командир j-го батальона".

$$\varphi = \frac{\log_2 (729 + 81 \times 9 + 27 \times 3 + 9 \times 3 + 3 \times 3 + 1 \times 3)}{\log_2 729} = 1,11715 \quad (3.42)$$

В сводном виде эти данные приведены в таблице 3.26 и на рисунке 3.15.

Таблица 3.26 – Сводные данные о вкладе разных уровней иерархий системы управления в общий уровень системности

Командир полка командует солдатами "на прямую"	729 солдат	81 отде- ление	27 взво- дов	9 рот	3 бата- льона	1 полк	Уровень системност и	
	1-й ур.	2-й ур.	3-й ур.	4-й ур.	5-й ур.	6-й ур.		Всего:
Командир полка	729					729	<b>1458</b>	1,10515
1-й ур. толпа новобранцев)	729						<b>729</b>	1,00000
2-й ур.	729	81*9					<b>1458</b>	1,10515
3-й ур.	729	81*9	27*3				<b>1539</b>	1,11336
4-й ур.	729	81*9	27*3	9*3			<b>1566</b>	1,11600
5-й ур.	729	81*9	27*3	9*3	3*3		<b>1575</b>	1,11687
6-й ур.	729	81*9	27*3	9*3	3*3	1*3	<b>1578</b>	1,11715
Максимальная системность	729							<b>76,65797</b>

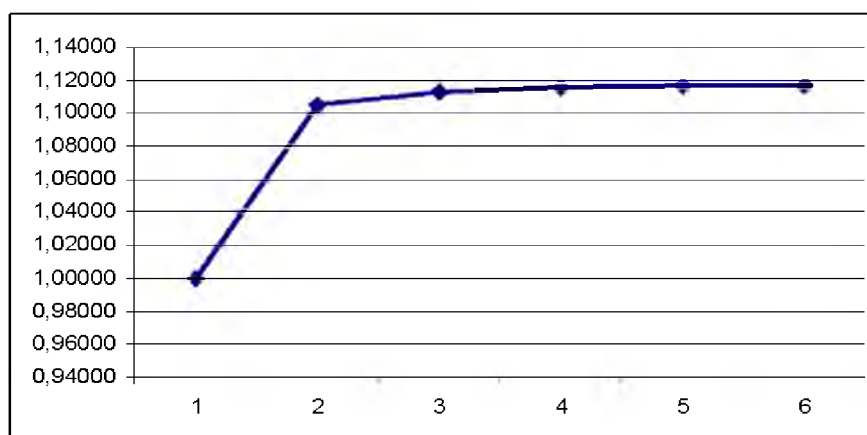


Рисунок 2.13 - Зависимость эмерджентности системы от появления в ней новых все более высоких иерархических уровней управления

Если проанализировать приведенную таблицу 2.25 и рисунок 2,13 на котором показана динамика эмерджентности и выражения (2.39)-(2.42) и рисунок 2.14, то сразу бросается в глаза, что создание иерархической системы управления полком приводит к добавлению в систему значительно большего количества элементов, чем при реализации двух-уровневого управления командиром полка напрямую каждым солдатом, если бы такое было возможно на практике. Соответственно это приводит к гораздо более значительному повышению уровня системности полка и более выраженному системному эффекту (эмерджентности), выражающемуся в том, что полк с иерархической структурой управления значительно более боеспособен и живуч, чем с одноуровневой. Видно, что добавление в систему новых все более высоких иерархических уровней управления приводит ко все меньшему увеличению системного эффекта (эмерджентности), т.е. в основном в этом смысле играет роль появление 1-го уровня иерархии (отделений, в нашем примере).

Кроме того из рассмотренных примеров можно сделать вывод о зависимости степени живучести системы в целом от степени ее иерархичности при нарушении системы управления: *чем выше степень иерархичности системы управления, тем в меньшей степени ее нарушение*

изменяет уровень системности и тем более живуча система в целом в случае нарушения ее системы управления. Это можно объяснить наличием системообразующих факторов на различных уровнях организации системы (в нашем примере это командиры батальонов, рот, взводов и отделений). В частности при невозможности для командира полка выполнять свои функции по состоянию здоровья:

– в гипотетическом случае, когда он управлял каждым солдатом непосредственно полк бы сразу превратился из единого слаженного организма в дезорганизованную толпу, в которой каждый сражается сам за себя;

– в случае приведенной 6-уровневой иерархической системы управления полк исчез бы как единое целое, но продолжал бы достаточно эффективно сражаться в составе организованных отдельных батальонов, сохраняющих полную управляемость и боеспособность.

Но теоретически максимальный уровень системности нашего условного полка с 729 солдатами составляет:  $729/\text{Log}_2 729=76,65797$ . Можно предположить, что этот огромный уровень системности мог бы быть обеспечен, если бы весь полк состоял сплошь из одних джедаев, свободно непрерывно телепатически общающихся друг с другом и действующих как единое целое, т.е. практически как одно практически непобедимое существо (если даже с одним таким воином очень проблематично справиться, то можно себе представить какую силу представляет высокоорганизованная группа из 729 воинов без слов мгновенно и полностью понимающих друг друга независимо от того, где и в какой ситуации каждый из них находится).

Здесь необходимо отметить также известное положение из теории информации Шеннона состоящее в том, что *энтропия системы тем меньше, чем больше взаимная информация в ее подсистемах друг о друге*. В биологических системах до определенного иерархического уровня их организации (клетки) в каждой подсистеме вообще имеется полная информация о всей системе в целом (геном). Это обеспечивает слаженную работу различных подсистем организма и сводит к минимуму потребность в обмене информацией между ними.

Однако добавление новой подсистемы в состав организационной системы не всегда приводит к повышению ее уровня системности, как казалось бы можно было ожидать. Если продолжить пример с полком, то это соответствует случаю внедрения в полк вражеского разведчика или просто лишнего управленческого звена, которое не вносит в систему управления ничего нового и ценного, а лишь дублирует команды, и хорошо еще если делает это своевременно и без их искажения, а иногда и просто блокирует прохождение команд на исполнение. Именно о подобных случаях говорят: "Начальник уехал в служебную командировку и работа подразделения неожиданно стабилизировалась, наладилась, сотрудников перестало лихорадить". В организациях уровень системности может понижаться при неоправданном разбухании административного аппарата.

В технической системе при ее повреждении также уменьшается количество исправных функциональных элементов, а также узлов и подсистем, в результате чего уменьшается уровень системности и степень детерминированности, т.е. управляемости системы.

В этой связи предлагается специально различать управляющие воздействия, целью которых является перевод объекта управления в заранее заданное целевое состояние без изменения его уровня системности и степени детерминированности, т.е. **использование** объекта управления, и **управляющие воздействия направленные на повышение самого уровня системности и степени детерминированности объекта управления, т.е. организующие управляющие воздействия, направленные на создание и развитие** объекта управления.

Если в первом случае управляющие факторы можно оценивать по силе и направлению их влияния на объект управления, то во втором случае – по величине и направлению изменения уровня системности и степени детерминированности, которые можно количественно измерять с помощью предложенных выражений системной теории информации для коэффициентов эмерджентности Хартли и Харкевича, названных так в работе [97] в честь этих выдающихся ученых.

### **2.3.3.2 Исследование влияния подсистем различных уровней иерархии на эмерджентные свойства системы в целом с применением АСК-анализа и интеллектуальной системы "Эйдос" (микроструктура системы как фактор управления ее макросвойствами)**

*"Истинное знание – это знание причин"*  
Френсис Бэкон (1561–1626 гг.)

Дальнейшее изложение основано на работе [253], нумерация формул, рисунков и таблиц сохранены.

*Проблема*, решаемая в научных исследованиях, состоит в выявлении силы и направления влияния состава и особенностей внутренней иерархической микроструктуры структуры систем на их внешне наблюдаемые на макроуровне свойства, т.е. по сути, в выявлении и исследовании вида причинно-следственных зависимостей между составом, внутренней структурой и эмерджентными свойствами систем.

Другой формой этой же *проблемы* является построение на основе эмпирических данных<sup>15</sup> *формальной модели*, количественно отражающей силу и направление влияния значений факторов на поведение моделируемого объекта, в частности на его переход в различные будущие состояния.

Такая формальная модель обеспечивает решение ряда как прямых, так и обратных задач.

---

<sup>15</sup> т.е. на основе описаний структуры, свойств и поведения объектов под влиянием различных воздействий, полученных из опыта

*Прямые задачи (задачи идентификации, распознавания и прогнозирования):*

1. Прогнозирование свойств системы по ее составу и структуре.
2. Идентификация состояния системы по ее признакам.
3. Прогнозирование будущих состояний объекта управления по системе действующих на него значений факторов.

*Задачи управления (обратные задачи прогнозирования):*

4. Определение такого состава и такой структуры системы, которые обуславливают заранее заданные ее свойства.
5. Определение такой системы значений управляющих факторов, которая переводит объект управления в заранее заданное целевое состояние.

*Идентификация* и *распознавание* – это просто синонимы. При идентификации считается, что признаки объекта и его состояние, которое нужно определить по этим признакам, относятся к одному моменту времени<sup>16</sup>. *Прогнозирование* отличается от идентификации тем, что (признаки) значения факторов относятся к прошлому времени, а состояния объекта к будущему<sup>17</sup>.

*Задача управления* (выработки управляющих воздействия) является **обратной** по отношению к задаче прогнозирования, так как при прогнозировании мы по значениям факторов, относящимся к прошлому, определяем будущее состояние объекта, а при управлении, наоборот, по заданному целевому (желательному) состоянию объекта управления определяем такую систему значений факторов, которая по определенным критериям<sup>18</sup> наиболее эффективно обуславливает (детерминирует) переход объекта в это целевое состояние.

Сформулированные задачи имеют очень общий характер, так как, по сути, являются вариациями одной математической задачи в различных областях науки и практики, например:

– **в генетике:** исследование и выявление силы и направления влияния признаков генома и окружающей среды на фенотип (смысловая интерпретация генома с применением технологий искусственного интеллекта: признаки генома и окружающей среды как факторы управления фенотипом);

– **в психологии** (управление персоналом): исследование зависимости личностных и профессиональных качеств человека от его реакции на осознаваемый и неосознаваемый стимульный материал (в частности на опросники); исследование влияния личностных и профессиональных качеств человека на успешность его работы на различных должностях;

---

<sup>16</sup> Конечно, фактически и при идентификации признаки всегда относятся к прошлому, а идентифицируемые состояния к будущему, т.к. процесс получения информации о наличии признаков и сам процесс идентификации занимает определенное время.

<sup>17</sup> Может быть исследован вопрос влияния будущего на прошлое, а также влияния друг на друга одновременных событий, которые, по-видимому, причинно-следственно не связаны друг с другом.

<sup>18</sup> Например, с наибольшей силой или с наиболее дешево на единицу силы влияния.



прогнозирование успешности деятельности конкретного человека на различных должностях на основе ранее выявленных его личностных и профессиональных качеств; разработка «Эйдос-реализации» психологических тестов на основе их опросников и шкал, включая среду применения, а также разработка интегральных тестов на основе стандартных тестов;

– **в педагогике:** исследование влияния педагогических технологий (в том числе: укомплектованности докторами и кандидатами наук, профессорами и доцентами, методов преподавания, технической оснащенности, учебно-методического обеспечения) на качество образования<sup>19</sup> вообще и уровень предметной обученности в частности, а также на успешность профессиональной деятельности по специальности после окончания обучения; оценка уровня преподавания в учебном заведении; прогнозирование учебных достижений учащихся по свойствам их личности и характеристикам образовательного и учебного процесса; выработка рекомендаций по совершенствованию образовательных технологий;

– **в экономике:** исследование влияния внутренней структуры предприятия на эффективность ее деятельности; исследование влияния технологических, экономических, социально-политических, природных и иных факторов на результаты экономической деятельности предприятий, отраслей и регионов; оценка и прогнозирование эффективности работы предприятий, выработка научно-обоснованных рекомендаций по совершенствованию деятельности; прогнозирование динамики и сценариев развития фондового рынка, поддержка принятия решений на фондовом рынке;

– **в агрономии:** исследование влияния агротехнологических факторов, биологических свойств сортов и факторов окружающей среды на количественные и качественные результаты выращивания сельскохозяйственных культур; *прогнозирование* результатов применения конкретных агротехнологий для выращивания конкретных культур в заданных условиях (почвы, предшественники, климат); разработка рекомендаций по системе агротехнологий, обеспечивающей заданный результат выращивания; определение степени соответствия условий зон и микрзон выращивания, требованиям, предъявляемым конкретными культурами и сортами;

– **в кулинарии:** исследование влияния рецептуры и технологии на вкусовые и потребительские свойства продуктов питания; разработка

---

<sup>19</sup> Образование – это обучение, воспитание и развитие. Обучение – это предметная обученность, т.е. знания, умения и навыки. Вопросы обучения в современной науке проработаны наиболее тщательно. Воспитание включает цели, ценности, мотивации и другие качества личности. Какие именно из них формировать и каким способом – это изучено намного слабее, чем вопросы обучения. Что же такое развитие в настоящее время в науке вообще освещено слабо. Достаточно сказать, что в современной науке есть теория познания, но нет теории сознания.

рекомендаций по рецептурам и технологиям, обеспечивающим получение продуктов питания с заданными вкусовыми и потребительскими свойствами;

– **в металлургии:** исследование влияния состава и технологии на свойства сплавов; разработка рекомендаций по составу и технологиям, обеспечивающим получение сплавов с заданными свойствами;

– **в химии:** исследование зависимости химических свойств химических элементов от структуры атомов; зависимость свойств химических соединений от элементного состава и структуры молекул; прогнозирование свойств новых элементов и химических соединений по их составу и структуре; разработка рекомендаций по составу и структуре новых соединений с заранее заданными свойствами;

– **в физике:** описание физических явлений и законов физики в различных областях физики на языке теории информации; применение теории управления для управления физическими процессами на различных уровнях организации материи;

– **в технических науках:** выявление зависимостей свойств новых материалов и технических систем от их состава, структуры и технологии создания; прогнозирование свойств новых материалов и технических систем и выработка рекомендаций по технологии их создания с заранее заданными свойствами;

– **в теории управления:** выявление и исследование силы и направления влияния значений факторов на свойства и поведение объекта управления; *прогнозирование* поведения объекта управления под воздействием заданной системы значений управляющих факторов; выработка такого *управляющего* воздействия, которое с наивысшей степенью детерминированности переведет объект управления в заданное целевое состояние;

– **в медицине:** исследование зависимости диагноза от клинической картины и симптоматики и зависимости плана лечения от диагноза; постановка диагноза и прогнозирование успешности лечения по симптоматике; выработка плана лечения по диагнозу;

– **в биологии:** исследование зависимости потребительских, технологических и адаптивных свойств сортов от их фенотипических (ботанических) признаков, физиологии и генотипа; выработка рекомендаций по получению новых сортов и культур;

– **в ампелографии:** создание семантической информационной модели, отражающей количество знаний, содержащихся в факте наблюдения каждого морфологического и биолого-хозяйственного признака у конкретного образца винограда о том, что этот образец относится к каждому из сортов, представленных в модели. Данную модель можно использовать для решения задач ампелографии, т.е. для идентификации образцов винограда или автоматизированного отнесения образца к сортам на основе его описания с определением количественной меры сходства образца с каждым сортом, а также для количественного определения степени сходства сортов друг с другом путем агломеративной и дивизивной древовидной кластеризации;

– **в лингвистике:** исследование взаимосвязи между символами и словами, между смыслом фразы и словами, из которых она состоит;

– **в теории чисел:** исследование взаимосвязи между свойствами цифр и чисел из них, между сложными числами и простыми числами, произведениями которых они являются, исследование других взаимосвязей между числами.

Эти примеры можно легко продолжить, но для целей данной работы и уже приведенных вполне достаточно. Остается добавить, что по многим из приведенных примеров автором проведены *конкретные* исследования и разработки интеллектуальных приложений<sup>20</sup>, т.е. поставлены и решены перечисленные выше задачи идентификации, прогнозирования и поддержки принятия решений в различных предметных областях и сделано это на единой методологической и инструментально-технологической основе Автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ) и его программного инструментария – интеллектуальной системы «Эйдос».

Рассмотрим, как на теоретическом уровне, так и на простом численном примере, как решается поставленная проблема в АСК-анализе.

Система есть множество взаимосвязанных элементов, что обеспечивает возникновение новых, так называемых системных или эмерджентных свойств, которых не было у элементов системы до их объединения в систему, что обеспечивает системе преимущества в достижении целей. Таким образом, понятие системы основано на понятии множества, но выходит за его пределы, т.е. является его *обобщением*, т.к. включает также понятия *взаимосвязей* между элементами, за счет которых образуются подсистемы различных уровней иерархии, образующие *структуру* системы [97, 170, 189, 191, 196, 201, 240, 241, 245, 248]. На рисунках 1 и 2 представлены в условном виде **все возможные** подсистемы, образующиеся из 3-х и из 4-х базовых элементов, являющихся простыми числами, путем их перемножения в различных сочетаниях:

**Базовыми элементами** будем называть элементы исходного множества, на основе которого образуется система. При этом подсистемы *различных уровней иерархии* некоторой системы, основанной на  $n$  базовых элементов, *могут* включать различное количество базовых элементов  $m$ , где  $m$  может изменяться от 1 до  $n$  (см. рисунки 3.14-3.15).

---

<sup>20</sup> См., например: <http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>  
<http://ej.kubagro.ru/a/viewaut.asp?id=11>

СИСТЕМА С ДВУМЯ УРОВНЯМИ ИЕРАРХИИ НА ОСНОВЕ ТРЕХ БАЗОВЫХ ЭОЕМЕНТОВ,  
КОЭФФИЦИЕНТ ЭМЕРДЖЕНТНОСТИ ХАРТЛИ=1,771244

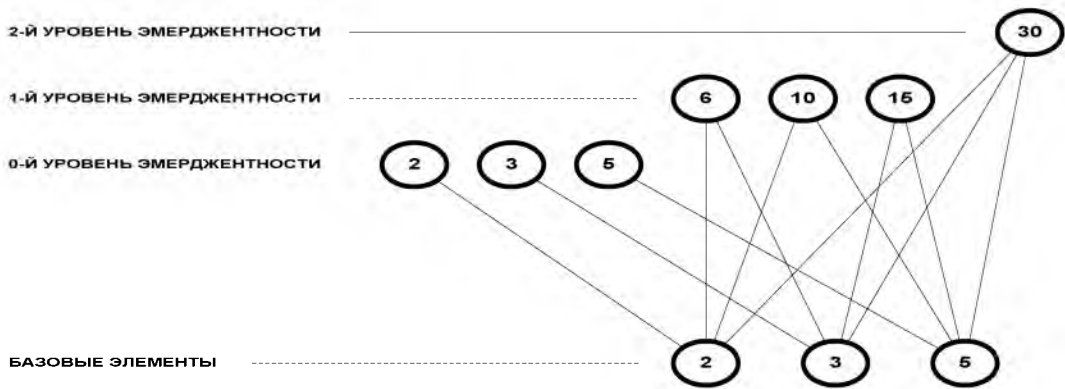


Рисунок 3.14 - Пример системы сложных чисел, основанных на 3 простых числах

СИСТЕМА С ТРЕМЯ УРОВНЯМИ ИЕРАРХИИ НА ОСНОВЕ ЧЕТЫРЕХ БАЗОВЫХ ЭОЕМЕНТОВ,  
КОЭФФИЦИЕНТ ЭМЕРДЖЕНТНОСТИ ХАРТЛИ=1,903677

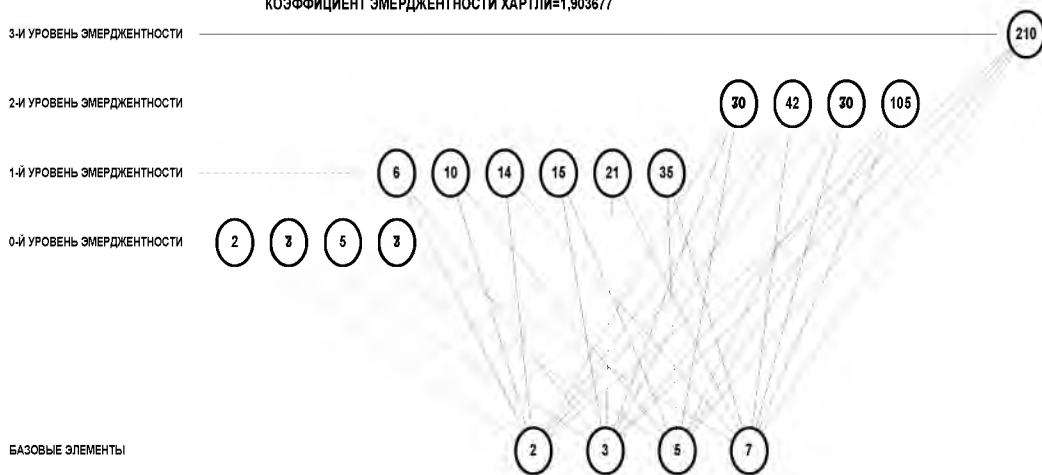


Рисунок 3.15 - Пример системы сложных чисел, основанных на 4 простых числах

Конечно, реальные системы включают не все *в принципе возможные* подсистемы, а лишь некоторые из них, поэтому на одном и том же множество базовых элементов могут основываться большое количество различных систем, одинаковых по составу (базовым элементам), но отличающихся своими структурами (подсистемами). Уровень базовых элементов будем считать нулевым уровнем иерархии системы, подсистемы, состоящие из 2-х базовых элементов – 1-м уровнем иерархии, и т.д., т.е. подсистемы из  $m$  базовых элементов образуют  $k$ -й уровень иерархии, где  $k=m-1$ .

Отметим, что выбор в качестве примера системы, основанной на базовых элементах, являющихся простыми числами, с подсистемами, образующимися путем перемножения базовых элементов в различных сочетаниях, не накладывает каких-либо ограничений на применимость полученных на этом примере выводов в различных предметных областях, т.к. простые числа можно рассматривать как условные *коды* признаков систем или значений действующих на них факторов, а составные числа – кодами эмерджентных свойств этих систем, образующихся путем взаимодействия

соответствующих базовых элементов, к тому же разложение сложных чисел на простые множители является *единственным*. Таким образом, приведенный в работе пример адекватно представляет в символической форме как все вышеперечисленные примеры решения прямых и обратных задач идентификации и прогнозирования в различных предметных областях, так и все не перечисленные аналогичные задачи.

Если выдвинуть весьма правдоподобную гипотезу, что *свойства системы в целом обуславливаются ее составом и структурой*, то можно считать, что между этими свойствами и подсистемами различных уровней иерархии существует взаимнооднозначное соответствие, т.е.:

– на нулевом уровне иерархии свойства системы соответствуют непосредственно самим элементам;

– на первом уровне иерархии свойства системы соответствуют подсистемам, образованных из пар базовых элементов в различных сочетаниях;

– на втором уровне иерархии свойства системы соответствуют подсистемам, образованных из троек базовых элементов в различных сочетаниях;

– на третьем уровне иерархии свойства системы соответствуют подсистемам, образованных из четверок базовых элементов в различных сочетаниях;

-----  
– на k-ом уровне иерархии свойства системы соответствуют подсистемам, образованных из m базовых элементов в различных сочетаниях, где  $k=m-1$ .

Таким образом, будем считать, что:

1. Система включает в свой *состав* не только базовые элементы, на которых она основана, но и различные подсистемы из тех же базовых элементов в различных сочетаниях и эти подсистемы образуют иерархическую *структуру* системы.

2. Базовые элементы системы будем считать ее *подсистемами* нулевого уровня иерархии.

3. Свойства системы в целом соответствуют ее подсистемам различных уровней иерархии, поэтому *все уровни иерархии, за исключением нулевого, вполне обоснованно называть уровнями эмерджентности*.

Ясно, что чем меньше базовых элементов в подсистемах, т.е. чем более *простыми* являются подсистемы, тем ближе свойства системы в целом к свойствам исходного множества базовых элементов, на которых основана данная система. На основании этого можно утверждать, что *понятие системы является обобщением понятия множества*. При этом выполняются *принцип соответствия*<sup>21</sup> между этими понятиями, т.к. система плавно переходит в множество собственных базовых элементов при уменьшении

---

<sup>21</sup> См., например: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Принцип%20соответствия>

сложности ее структуры, т.е. числа уровней иерархии и подсистем на этих уровнях до нуля.

Будем считать, что уровень системности (эмерджентность) системы тем выше, чем больше ее свойства отличаются от свойств множества базовых элементов, на которых она основана. Будем считать, что максимальное количество эмерджентных свойств системы в целом  $E_W^M$ , состоящей из  $M$  базовых элементов, равно количеству ее подсистем различных уровней иерархии, т.е. различной сложности (3.43):

$$E_W^M = \sum_{m=1}^M C_W^m \quad (3.43)$$

где:  $W$  – количество подсистем в системе, т.е. количество состояний системы или количество ее эмерджентных свойств;

$m$  – число базовых элементов в подсистеме (сложность подсистемы);

$M$  – максимальное количество базовых элементов в подсистеме (максимальный уровень сложности подсистем)  $M \leq W$ .

В работах [97, 170, 189, 191, 196, 201, 240, 241, 245, 248] предложены, обоснованы, развиты и исследованы абсолютные и относительные количественные меры уровня системности (эмерджентности) системы, в качестве которых автором в 2002 году предложены системное обобщение выражения Хартли для количества информации в системе (3.2), основанной на  $W$  базовых элементов и его отношение к классическому количеству информации по Хартли (3.3) в множестве тех же базовых элементов [97] (3.4):

$$I_{sys} = \log_2 \sum_{m=1}^M C_W^m \quad (3.44)$$

$$I_{klas} = \log_2 W \quad (3.45)$$

$$\varphi = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\log_2 W} \quad (3.46)$$

Таким образом, этот коэффициент количественно отражает максимально возможную степень отличия системы от множества его базовых элементов. Поскольку выражение (3.46) основано на классическом выражении Хартли для количества информации (2.45) и его системном обобщении, предложенном автором (3.44), то в работе [97] для него было предложено название: «**Коэффициент эмерджентности Хартли**», однако, в работах ряда авторов эти и другие результаты преподносятся как

собственные без ссылок на первоисточники<sup>22</sup>, другие, напротив почему-то думают, что эта информационная мера уровня или **мера системности** была предложена самим Р.Хартли.

А как уровень системности связан с управляемостью системы?

Интуитивно понятно, что чем сложнее система, тем сложнее ею управлять. Фундаментальный **принцип**, раскрывающий *природу взаимосвязи* между сложностью системы и проблематичностью управления ею предложен одним из основателей кибернетики Уильямом Россом Эшби и в современной науке носит его имя.



Уильям Росс Эшби,  
1960 г.

Принцип Эшби: «Управление может быть обеспечено только в том случае, если *разнообразие* средств управляющего (в данном случае всей системы управления) по крайней мере не меньше, чем *разнообразие* управляемой им ситуации»<sup>23</sup>.

Обычно принцип Эшби интерпретируется таким образом, что число факторов в модели должно быть не меньше числа состояний объекта управления.

Ясно, что уровень системности (эмерджентности) системы или ее *сложность* определяется не только числом базовых элементов в ней, но и *взаимосвязями* между ними, т.е. *структурой* системы, и *при уменьшении интенсивности и количества этих взаимосвязей система дезинтегрируется*, т.е. *структура системы упрощается*, пока полностью не исчезнет и система не превратится в простое множество собственных базовых элементов. Значит уровень системности или эмерджентность системы тем выше, чем выше сила и сложность взаимосвязей между ее базовыми элементами.

В этой связи в работе [97] была сформулирована и численно исследована гипотеза о законе возрастания эмерджентности (рисунок 3.17).

С этих позиций принцип Эшби не означает, что если модель объекта управления не отражает все действующие на него факторы<sup>24</sup>, то управление им будет невозможно. Он лишь означает, что в этом случае управление будет **не полным, не детерминистским**.

При этом под фактором понимается его значение и неявно предполагается, что каждое будущее состояние объекта управления детерминируется одним значением фактора и между его значениями и состояниями системы существует взаимнооднозначное соответствие. По *по*

<sup>22</sup> Об этом см., например: Вяткин В.В. Групповой плагиат: от студента до министра. // Троицкий вариант. № 91: 08.11.2011 – Электронный ресурс. – [Режим доступа]: <http://trv-science.ru/2011/11/08/grupповојі-plagiat-ot-studenta-do-ministra/>

<sup>23</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Эшби.%20Уильям>

<sup>24</sup> Факторы, действующие на объект управления делятся на внутренние и внешние, а внешние в свою очередь на технологические факторы, т.е. факторы зависящие от управляющей системы, и факторы окружающей среды, независящие от нее.

сути, предполагается, что модель объекта управления является *детерминистской*, факторы не зависят друг от друга (ортонормированны) и не взаимодействуют друг с другом, т.е. по сути, образуют множество, а не систему факторов. Однако если рассматривать объект управления как систему в цикле управления (рисунок 3.16), то можно интерпретировать признаки как

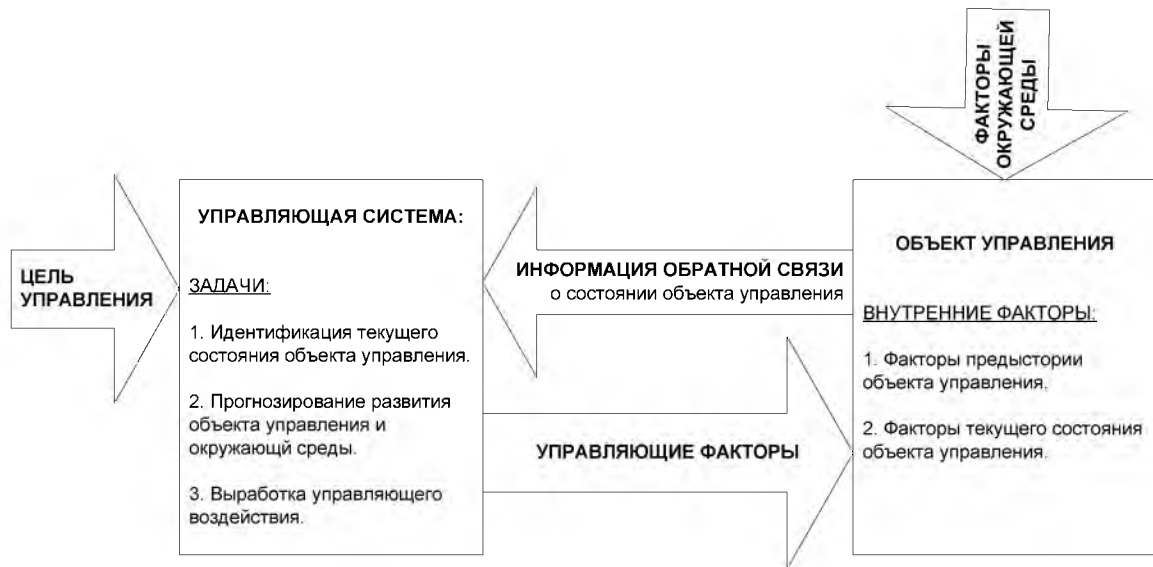


Рисунок 3.16 - Объект управления как система в цикле управления

значения факторов, воздействующих на систему, а классы как эмерджентные свойства системы или ее будущие состояния, некоторые из которых являются целевыми, а некоторые нежелательными.

По мнению авторов это означает, что принцип Эшби может быть обобщен с учетом системных представлений следующим образом:

«Для того чтобы управление было полным (детерминистским) модель объекта управления должна описывать силу и направление влияния на объект управления не меньшего суммарного количества различных сочетаний значений факторов, чем количество возможных будущих состояний объекта управления». Если записать это высказывание в форме математического выражения, то получим (3.47):

$$\sum_{m=1}^M C_W^m \geq W \quad (3.47)$$

Из выражения (2.47),  $W > 0$ , следует эквивалентная форма (3.48).

$$\frac{\sum_{m=1}^M C_W^m}{W} \geq 1 \quad (3.48)$$

Предлагается также следующая формулировка **системного обобщения принципа Эшби**: «Чем больше различных сочетаний значений факторов действует на объект управления, тем выше степень детерминированности



управления им». Из сравнения выражений (6.46) и (3.44) можно сделать вывод о том, что из приведенной выше формулировки системного обобщения принципа Эшби вытекает следствие: «Степень детерминированности управления системой тем выше, чем выше ее эмерджентность (уровень системности), количественно измеряемая коэффициентом эмерджентности Хартли» (см. рисунок 3.17 и (3.26)).

Если в классическом принципе Эшби объект управления рассматривается как *многофакторный линейный черный ящик*<sup>25</sup>, т.е. черный ящик со многими входами и многими выходами не имеющий никакой внутренней структуры, то в системном обобщении принципа Эшби объект управления рассматривается как *система однофакторных черных ящиков*, каждый из которых имеет один вход и один выход, взаимодействующих между собой и образующих подсистемы, что приводит к нарушению линейности объекта управления. Таким образом, системное обобщение принципа Эшби основано на введении внутренней иерархической структуры черного ящика.

Объект управления называется *линейным*, если результат совместного действия на него совокупности факторов равен *сумме* результатов влияния на него каждого из этих факторов по отдельности [273]. Это озна-



Рисунок 3.17. Гипотеза о законе возрастания эмерджентности [97]

<sup>25</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Чёрный%20ящик>

чают, что в линейном объекте управления факторы не взаимодействуют между собой, не образуют подсистем детерминации, т.е. по сути, являются не системой, а множеством факторов. В нелинейных объектах управления факторы образуют систему с определенным уровнем системности, с новыми эмерджентными (системными) свойствами, не сводящимися к свойствам факторов, рассматриваемым по отдельности. Чем ниже эмерджентность (уровень системности) объекта управления, тем он как система ближе к множеству и к линейности.

В работе [97] для количественной оценки степени детерминированности системы предложен и численно исследован коэффициент эмерджентности, названный в честь А.А.Харкевича «Коэффициентом эмерджентности Харкевича» (3.49):

$$\Psi = \frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}, \quad (3.49)$$

где  $N$  – количество фактов, обобщенных в модели объекта управления. Фактом является одновременное наблюдение на опыте двух событий: «Объект управления перешел в  $j$ -е состояние» и «На объект управления действовало  $i$ -е значение фактора».



Александр Александрович Харкевич  
(21.01.1904 - 30.03.1965)

Харкевич А.А., директор Института проблем передачи информации АН СССР академик АН СССР. Выдающийся советским ученый, внесшим огромный вклад в создание семантической теории информации. Он внес в теорию информации представление о цели (нацелил ее на управление) и предложившим количественную меру знаний [245, 248]

Из вида выражения (3.49) для коэффициента эмерджентности Харкевича  $\Psi$  очевидно, что увеличение уровня системности  $\varphi$  влияет на семантическую информационную модель аналогично повышению уровня детерминированности системы: понижение уровня системности, также как и степени детерминированности системы приводит к ослаблению влияния факторов на поведение системы, т.е. к понижению управляемости системы за счет своего рода "инфляции факторов" [97]. Иначе говоря, если на объект управления действует ортонормированная система факторов, т.е. множество факторов, не связанных между собой, и к этой системе добавляется еще один фактор, тождественный по своему влиянию одному из уже имеющихся, то суммарное влияние этого нового фактора и тождественного останется тем же самым, т.е. распределится между ними поровну (рисунок 3.18).

Таким образом, *коэффициенты эмерджентности Хартли и Харкевича можно обоснованно считать количественным выражением системного обобщения принципа Эшби.*

Общим для всех сформулированных в начале работы задач, и обобщенных, и из разных предметных областей, является *неизвестность характера или вида причинно-следственных зависимостей* между составом, иерархической структурой и свойствами объектов, или между значениями действующих на объект значениями факторов и его поведением. Однако для решения задач идентификации (распознавания), прогнозирования и принятия решений *необходимо знать вид этих зависимостей*, следовательно, *необходимо выявить и отразить их в формальной модели* перед решением этих задач. При этом источником исходных данных для построения *формальной модели* могут быть только эмпирические данные, полученные из опыта путем наблюдения или в специально организованных экспериментах. Соответственно, возникает принципиальный вопрос, который можно сформулировать следующим образом: *«Возможно ли на основе ряда примеров систем с известными внутренним составом и иерархической структурой с одной стороны, и внешне наблюдаемыми свойствами с другой стороны, выявить в количественной форме силу и направление причинно-следственных связей между ними?»*

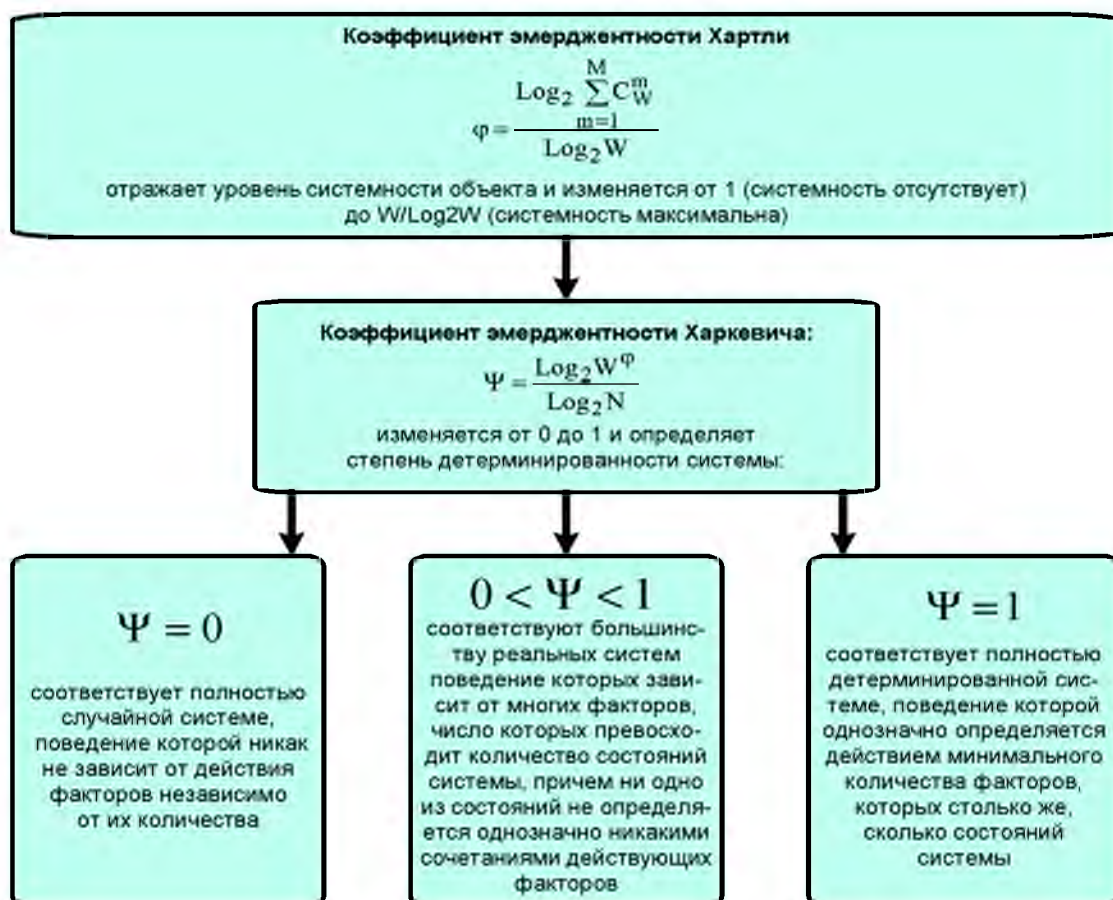


Рисунок 3.18 - Интерпретация и взаимосвязь коэффициентов эмерджентности Хартли и Харкевича согласно [97]

Автоматизированный системно-когнитивный анализ (АСК-анализ) и его программный инструментарий – интеллектуальная система «Эйдос» [97] позволяют утвердительно ответить на этот вопрос, т.к. предоставляют ряд новых возможностей для построения и верификации на основе эмпирических данных формальных моделей, отражающих силу и направление причинно-следственных связей между составом, структурой и свойствами объектов или между значениями действующих на объект значениями факторов и его поведением, а также для решения на основе этих моделей задач идентификации, прогнозирования и принятия решений.

Однако перед тем как непосредственно перейти к рассмотрению этих возможностей кратко обсудим некоторые методологические аспекты создания и применения формальных моделей в научном познании.

Основываясь на работе [245] будем считать, что:

– **закономерности** – это причинно-следственные зависимости, выявленные на исследуемой выборке и распространяемые лишь на саму эту выборку;

– **эмпирический закон** – это закономерности, выявленные на исследуемой выборке и распространяемые на некоторую более широкую предметную область, в которой действуют *те же причины их существования*, что и в исследуемой выборке и эта более широкая предметная область называется *генеральной совокупностью*, по отношению к которой исследуемая выборка *репрезентативна*.

Важно, что генеральная совокупность является *более широкой*, чем исследуемая выборка, причем не только в пространстве, но и во времени. *Периоды* времени, в течение которых закономерности в предметной области существенно не меняются, называются *периодами эргодичности*. Можно сказать, что эргодичность – это репрезентативность во времени. Границы между периодами эргодичности называются точками бифуркации. Будем считать, что *генеральная совокупность эргодична по отношению к исследуемой выборке, а граница генеральной совокупности состоит из точек бифуркации*.

Таким образом, *если формальная модель адекватна, то по результатам ее применения невозможно определить в какой именно подобласти генеральной совокупности (области репрезентативности и эргодичности) она применяется*. Важно отметить, что сформулированное положение *никак не привязано к конкретной предметной области*, исследуемой той или иной наукой.

В физике сходный, но более ограниченный смысл имеют принципы относительности Галилея и Эйнштейна: «Все физические процессы в инерциальных системах отсчёта<sup>26</sup> протекают одинаково, независимо от того, неподвижна ли система или она находится в состоянии равномерного и прямолинейного движения<sup>27</sup>». При этом под «физическими процессами» в

<sup>26</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Инерциальная%20система%20отсчёта>

<sup>27</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Принцип%20относительности>

принципе относительности Галилея подразумеваются только механические явления, а Эйнштейна – кроме того, и электромагнитные, в частности оптические. Поэтому если мы находимся в замкнутой инерциальной системе отсчета, то по протеканию физических процессов невозможно определить, движется она или покоится, а также в каком месте пространства и в каком времени она движется или покоится. Из принципа относительности Эйнштейна вытекают преобразования Лоренца, которые являются релятивистским обобщением преобразований Галилея и относительно которых инвариантны уравнения Максвелл, описывающие электромагнитные явления.

Это дает основания называть сформулированное положение «Обобщенным принципом относительности». Предлагается следующая формулировка *обобщенного принципа относительности*, относящегося не только к механическим и электромагнитным явлениям, но и вообще ко всем явлениям, в том числе еще не обнаруженным и даже к тем, которые в принципе никогда не будут обнаружены человечеством: «Законы природы открытые в одном месте и в определенное время действуют и в других местах и в другое время», *поэтому по виду законов природы в замкнутой лаборатории невозможно определить в каком месте (пространства) и в каком времени эта лаборатория находится, т.е. по виду законов природы внутри лаборатории невозможно локализовать ее в пространстве-времени*. По-видимому, из этого утверждения также могут быть выведены преобразования, являющиеся обобщением преобразований Лоренца для различных предметных областей, а не только для физики.

Обобщенный принцип относительности является методологической основой *синтеза* формальной модели объекта управления<sup>28</sup> на основе исследуемой выборки, и *применения* этой модели в течение периода эргодичности для решения задач идентификации, прогнозирования и принятия решений в некоторой генеральной совокупности, по отношению к которой исследуемая выборка репрезентативна.

*На этом утверждении фактически основана вся современная наука*, так как когда ученые открывают и исследуют в своих лабораториях новые явления природы и новые законы, то они при этом неявно предполагают, что открываемое ими новое знание будет использоваться не только лично ими, но *в будущем* пригодится и другим людям, причем и *в других странах*. Они также предполагают, что изучив законы природы в своих лабораториях они могут на их основе делать выводы об объектах и процессах, весьма удаленных в пространстве и времени, а также об объектах существенно других масштабов, чем изучаемые в лаборатории.

**Пример-1.** Исследуя излучение света нагретыми химическими элементами ученые могут по спектрам этого излучения определять химический состав веществ не только на Земле, но и химический состав

---

<sup>28</sup> т.е. формальной модели, отражающей силу и направление причинно-следственного влияния значений факторов на поведение моделируемого объекта.



далеких планет, Солнца и других звезд, в том числе в других галактиках. Правда наблюдается «красное смещение» спектральных линий, которое сегодня объясняется законом Хаббла<sup>29</sup> и расширением вселенной<sup>30</sup>, хотя известно, что возможны и другие объяснения. *Предлагается гипотеза* о том, «красное смещение» может быть объяснено не только расширением вселенной, но и *ускорением темпа времени в ней* (или совместным действием этих факторов в разных сочетаниях степени их влияния на появление этого эффекта<sup>31</sup>). При этом фотоны, которые мы регистрируем на Земле, относятся к тем более отдаленному прошлому, чем дальше находится источник их излучения от Земли, и смещение их частоты в красную сторону отражает на сколько темп времени в источнике их излучения меньше, чем на Земле. В замкнутой системе отсчета нет возможности определить, изменился ли темп времени в ней, даже если он изменится в 1000 раз, но это возможно при взаимодействии нескольких систем отсчета с разным темпом времени в них. Например, когда человек спит, то в течение нескольких секунд может увидеть сон с событиями, которые занимают 2-3 часа и при этом ему не кажется, что эти события происходят в каком-то ускоренном темпе, но это только потому, что во время сна он не осознает событий в физической реальности и не имеет возможности сравнить темп их реализации.

**Пример-2.** Изучив законы гравитации на Земле и в Солнечной системе ученые могут применять их в масштабах нашей и других галактик, а также в масштабах метагалактики. Правда при этом обнаруживается *фактическое* несоблюдение этих законов даже уже в масштабах галактики и для объяснения этого предполагается существование «темной материи<sup>32</sup>» и «темной энергии», свойства которых и распределение в пространстве как раз таковы, что позволяют «объяснить» расхождение теории с фактом, хотя известно, что возможны и другие объяснения. Например, энергии гравитационного поля соответствует масса, которая в свою очередь создает гравитационное поле, т.е. гравитационное поле является нелинейным самосогласованным полем. Правда заметным это становится лишь при очень больших по напряженности или по объему гравитационных полях, т.е. как раз в очень больших масштабах, порядка размеров галактики и больше, или вблизи таких экзотических объектов, как черные дыры. *Предлагается гипотеза*, что никакой «темной материи и энергии» нет, но есть *дополнительное* гравитационное поле, которое объясняли их наличием, однако это дополнительное гравитационное поле создается самим гравитационным полем.

Получается, что есть основания сформулировать следующую *гипотезу*: «Принцип относительности выполняется по тем же причинам, по которым

---

<sup>29</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Закон%20Хаббла>

<sup>30</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Хаббл.%20Эдвин%20Павэлл>

<sup>31</sup> Расширение вселенной тоже должно приводить к ускорению темпа времени, т.к. должно сопровождаться уменьшением плотности массы и напряженности гравитационного поля.

<sup>32</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Тёмная%20материя>

существуют законы сохранения и этими причинами являются симметрии пространства-времени».

**В этой связи возникают два принципиальных вопроса:**

**Вопрос-1.** В какой степени абстрактная модель полностью однородного и изотропного пространства-времени, рассматриваемая в теореме Нётер, соответствует свойствам реального пространства-времени, т.е. насколько адекватно эта абстрактная модель отражает реальность?

**Вопрос-2.** Если реальное пространство не является полностью однородным и изотропным и реальное время не совсем однородно, то каким образом это отклонение их свойств от свойств абстрактного полностью



Амáлия Э́мми Нётер<sup>33</sup>  
23.03.1882 – 14.04.1935

В соответствии с фундаментальной теоремой Эмми Нётер<sup>34</sup> из симметрий пространства-времени: однородности и изотропности пространства и однородностью времени, следуют, соответственно, законы сохранения импульса, момента количества движения и энергии<sup>35</sup>. Выполнение принципа относительности Галилея-Эйнштейна обусловлено тем, что законы физики не меняются при инерциальном смещении системы отсчета (в т.ч. в гравитационном поле), и одинаковы при смещении в разных направлениях, во времени, и при поворотах.

однородного и изотропного пространства-времени сказывается на степени соблюдения законов сохранения импульса, момента импульса и энергии, а также на точности принципа относительности?

Естественно, 2-й вопрос становится актуальным в случае неполной адекватности абстрактной модели абсолютно однородного и изотропного пространства-времени, рассматриваемого в теореме Нётер.

---

<sup>33</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:Noether.jpg>

<sup>34</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Нётер.%20Эмми>

<sup>35</sup> В современной физике законов сохранения гораздо больше и все они связаны с определенными симметриями пространства-времени, а также с динамическими симметриями, см., например: <http://www.ugatu.ac.ru/ddo/KSE/01/0123/ks012300.htm>



Альберт Эйнштейн  
14.03.1879 – 18.04.1955

В современной науке считается, что свойства реального (физического) пространства-времени определяются распределением масс, т.к. гравитация согласно модели общей теории относительности (ОТО)<sup>36</sup> Альберта Эйнштейна<sup>37</sup> представляет собой деформацию пространства-времени, т.е. *нарушение его однородности и изотропности*, вызванное распределением массы-энергии. Поэтому пространство-время может быть однородным и изотропным только в однородной и изотропной вселенной, в которой это условие выполняется для распределения массы-энергии как в микро, так и в мега масштабах<sup>38</sup>.

Следовательно, ответ на 1-й вопрос, по сути, сводится к ответу на вопрос об однородности и изотропности распределения массы-энергии во вселенной.

На уровне микро масштабах об однородности и изотропности распределения масс не может быть и речи, т.к. всем хорошо известно, каким сложным образом движутся планеты вокруг Солнца и спутники планет вокруг них. Недавно в ряде работ с участием автора выяснилось<sup>39</sup>, что *это движение оказывает довольно заметное влияние* на движение географического и магнитного полюсов Земли [243], на конфигурацию магнитного поля Земли, на частоту землетрясений на Земле, а также на поведение людей и их социальный статус.

Длительное время считалось, что вселенная однородна и изотропна в мега масштабах (*космологический принцип*<sup>40</sup>), однако в последнее время появились данные о том, что, *по-видимому*, и это тоже не так. В этой связи необходимо упомянуть работы по реликтовому излучению<sup>41</sup>, великому аттрактору<sup>42</sup> и сенсационные исследования профессора Майкла Лонге<sup>43</sup> (США) с коллегами по асимметрии распределения и ориентации спиральных галактик в метagalактике<sup>44</sup> (рисунок 2.19).

Как мы видим из этих примеров *реальная* структура метagalактики весьма мало напоминает однородную и изотропную и может быть принята такую только в очень грубом приближении. Таким же грубым приближе-

<sup>36</sup> См.: например: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Общая%20теория%20относительности>

<sup>37</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Эйнштейн,%20Альберт>

<sup>38</sup> Микро масштабом вселенной можно считать уровень звездных систем, например Солнечной системы, мега масштабами – структуру метagalактики.

<sup>39</sup> См.: <http://ej.kubagro.ru/a/viewaut.asp?id=495>

<sup>40</sup> См.: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Космологический\\_принцип](http://ru.wikipedia.org/wiki/Космологический_принцип)

<sup>41</sup> *Анизотропия* реликтового излучения:

<http://ru.wikipedia.org/wiki/Реликтовое%20излучение>

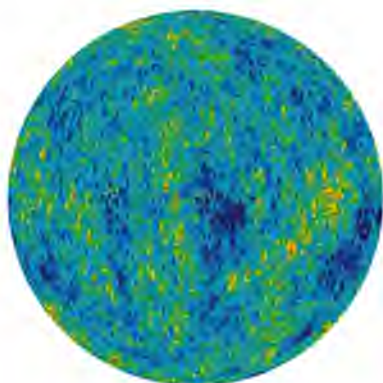
<sup>42</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Великий%20аттрактор>

<sup>43</sup> [http://www.lsa.umich.edu/physics/directory/emeritus/ci.longomichael\\_ci.detail](http://www.lsa.umich.edu/physics/directory/emeritus/ci.longomichael_ci.detail)

<sup>44</sup> См.: <http://www.modcos.com/news.php?id=115>

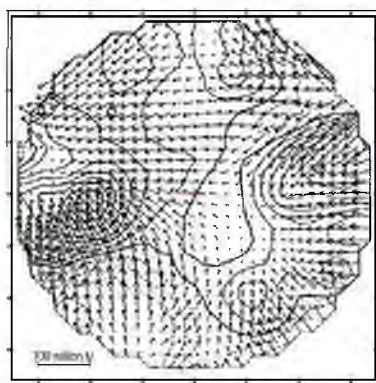


нии. Это и есть ответ на 1-й вопрос, который делает актуальным поиск ответа и на 2-й вопрос<sup>45</sup>, который, по-видимому, будет найден в более общих и более точных физических теориях, чем современные.



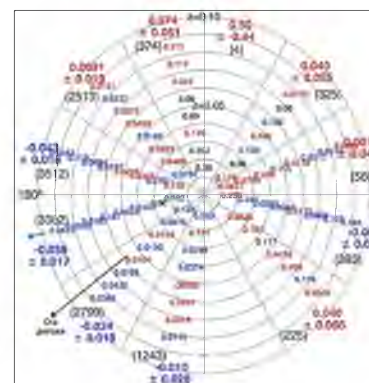
Анизотропия  
реликтового  
излучения.

Источник изображения:  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/WMAP\\_2008.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/WMAP_2008.png)



Карта потоков галактик в  
метagalaxике согласно  
<http://www.atlasoftheuniverse.com/superc/cen.html>

Источник изображения:  
<http://www.universe-review.ca/103-02-attractor2.jpg>



Анизотропия  
распределения  
спиральных галактик  
во Вселенной.

Источник:  
<http://www.modcos.com/news.php?id=115>

Рисунок 3.19 - Ассиметрия вселенной в масштабах метagalaxики

Таким образом, есть основания полагать, что даже в физике принцип относительности имеет границы применимости, *но на предметные области других наук он не распространяется [275]* и поэтому в [253] и в данной работе предложен обобщенный принцип относительности: «Законы природы открытые в одном месте и в определенное время действуют и в других местах и в другое время», *поэтому по виду законов природы в лаборатории невозможно определить в каком месте (пространства) и в каком времени эта лаборатория находится, т.е. по виду законов природы внутри лаборатории невозможно локализовать ее в пространстве-времени.*

В частности, никакими экспериментами *внутри* полностью замкнутой виртуальной реальности (сном) невозможно определить, является эта реальность виртуальной (сном) или реальной. Но это можно установить, *выйдя за пределы этой реальности*, например, сняв амуницию виртуальной реальности или просто проснувшись. Поэтому *внутри* нашей реальности нет критериев, позволяющих обоснованно утверждать, что наша реальность не является виртуальной (сном). Из этого можно сделать очень важный вывод о том, что *для того, чтобы давать истинные результаты способ определения степени истинности реальности сам должен быть истинным, т.е. он сам не должен относиться к той области реальности, которая с помощью него оценивается.* Например, если мы хотим определить спим мы или нет, то сам способ, который мы используем для этого, не должен нам сниться, т.к. иначе

<sup>45</sup> «О границах применения принципа относительности Галилея-Эйнштейна и законов сохранения»

он может дать результаты, которые тоже нам снятся, и, соответственно, могут быть какими угодно, в том числе и «подтверждающими», что мы не спим, и тем самым могут ввести нас в заблуждение [163, 164, 275]<sup>46</sup>. Проще говоря нам может присниться, что мы бодрствуем и мы во сне сами можем придерживаться этого мнения, но от этого сон не станет бодрствованием. Из этого примера следует, по крайней мере, два вывода:

1. Принцип относительности описывает не саму реальность, а то, какой она осознается в замкнутой лаборатории, но как только мы связываем каналом передачи информации как минимум две до этого замкнутые лаборатории, то сразу очевидным, что этот принцип нарушается.

2. Наша «истинная» реальность имеет очень много общего с виртуальной реальностью, по крайней мере, внутри нее у нас нет способа и критериев это опровергнуть. Этот вывод усиливается и другими доводами, в частности наличием в нашем мире квантовых явлений<sup>47</sup> и релятивистских эффектов, а также различных аномальных явлений и их сходством с современными средствами трехмерной визуализации.

И не смотря на то, что на этом принципе, как было показано выше, по существу основана современная наука он, *строго говоря*, не верен, т.е. выполняются лишь в первом весьма грубом приближении. Для всех наук, изучающих реальную область, кроме физики, это совершенно очевидно, и фактически современная наука (кроме физики) *основана не только на этом принципе, но и на исследовании зависимости степени его несоблюдения от локализации лаборатории в пространстве-времени и масштабов изучаемых явлений, т.е. исследование региональных особенностей и их динамики*<sup>48</sup>. Для обоснования этого положения достаточно привести несколько примеров из области социально-экономических, политологических и психологических исследований.

**Пример-1:** исследование *региональных особенностей* и их динамики в экономике, социологии, политологии.

Лауреат Нобелевской премии в области экономики, основатель математической экономики Василий Васильевич Леонтьев<sup>49</sup> разработал экономико-математические модели межотраслевого баланса. Однако эти модели с различной степенью адекватности описывали *реальную* экономику разных стран, а иногда вообще ее не описывали, например тех, в которых «экономика должна быть экономной». Можно было бы построить карту мира с наглядной визуализацией на ней степени адекватности этих моделей в

---

<sup>46</sup> Луценко Е.В. Существование, несуществование и изменение как эмерджентные свойства систем // Квантовая Магия. – 2008. – Т. 5. – Вып. 1. – С. 1215–1239 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://quantmagic.narod.ru/volumes/VOL512008/p1215.html>

<sup>47</sup> В т.ч. действием принципа неопределенности Гейзенберга

<sup>48</sup> Такое исследование (зависимости степени *несоблюдения* принципа относительности и законов сохранения от локализации лаборатории в пространстве-времени) было бы интересно провести и в физике.

<sup>49</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Леонтьев,%20Василий%20Васильевич>

динамике. Даже очень хорошие модели, заслужившие наивысшую оценку, имеют свои ограниченные в пространстве и времени области адекватности.

Социологи и политологи изучают общественное мнение по различным вопросам в разрезе по регионам и различным группам населения и также это делают в динамике.

**Пример-2:** «зарабатывание» на разнице в курсах ценных бумаг.

Приведем замечательную цитату из работы академика А.Б.Мигдала<sup>50</sup>: «... как неравномерность хода времени приводит к несохранению энергии. Допустим, что неравномерность хода времени проявилась в том, что начиная с некоторого момента стала периодически изменяться постоянная всемирного тяготения. Тогда легко построить машину, которая будет получать энергию из ничего, – "вечный двигатель". Для этого нужно поднимать грузы в период слабого тяготения и превращать приобретенную ими энергию в кинетическую, сбрасывая грузы в период увеличения тяготения<sup>51</sup>. Видите, неравномерность хода времени, то есть изменение относительного ритма разных процессов, приводит к нарушению закона сохранения энергии». Не правда ли, это весьма и весьма напоминает то, чем занимаются спекулянты на рынке ценных бумаг: *покупают товар, когда цена на него падает до локального минимума и прогнозируется ее повышение, и продают, когда она достигает локального максимума и ожидается ее понижение*. Чем не нарушение закона сохранения энергии в экономике и не «экономический вечный двигатель»? Более того, *спекулянты ведут себя так, как будто стараются нарушить закон сохранения энергии в максимально возможной степени [196]*, т.к. нет никакого экономического смысла в том, чтобы покупать и продавать ценные бумаги по одной и той же цене и чем выше *разница* в цене приобретения и продажи, тем выше прибыль. Действия таможенников также приводят к нарушению закона сохранения энергии в экономике, по своему содержанию по сути ничем не отличаясь от действий «демонов Максвелла»<sup>52</sup>, только на макроуровне. Аналогично и в *пространстве* товары перемещают из тех мест, где они дешевле (обычно там они и производятся), туда, где они дороже, т.е. *логистические потоки информационные, финансовые, энергетические и материальные, направлены таким образом, чтобы в максимально возможной степени нарушать закон сохранения импульса в экономике [196]*. Ясно, что нет никакого экономического смысла возить товары по путям, по которым их цена не меняется, а именно для этих областей экономического пространства выполняется закон сохранения импульса по данному виду товаров. Таким образом, ***вечный двигатель, невозможный в физике, вполне возможен в экономике из-за ярко-выраженного нарушения обобщенного***

---

<sup>50</sup> Мигдал А. Б. Поиски истины. – М.: «Молодая гвардия», 1983. – 239 с., – Режим доступа: <http://physiclib.ru/books/item/f00/s00/z0000024/index.shtml>

<http://www.twirpx.com/file/438798/>

<sup>51</sup> См.: <http://physiclib.ru/books/item/f00/s00/z0000024/st014.shtml>. Курсив мой, авт.

<sup>52</sup> См.: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Демон%20Максвелла> и <http://etherdynamic.ru/physics/82-yaponcam-udalos-sozdat-demon-maksvela.html>

*принципа относительности, а также законов сохранения энергии и импульса в экономике. При этом финансовые и материальные потоки направлены в область максимального скорости изменения градиента или разности потенциалов что, по-видимому, связано с каким-то обобщением принципа наименьшего действия [196].*

*Пример-3:* локализация и адаптация психологических тестов. В управлении персоналом часто используются психологические тесты. Как правило, их скачивают в Интернете или находят на пиратских компакт-дисках. При этом обычно не задаются вопросами о том, на сколько корректно применять эти тесты, например, в ООО «Сигнал» в России 2012 года, если они были разработаны в Стэнфордском университете США в 1970 году, т.е. ведут себя так, как будто предполагают, что для них соблюдается обобщенный принцип относительности<sup>53</sup>. Между тем даже в США они уже подвергались многократной адаптации, т.к. с течением времени закономерности в предметной области изменяются и там это прекрасно осознают и отслеживают в своих психологических измерительных инструментах эти изменения. Даже в США они локализируются для применения в других штатах, т.к. закономерности в предметной области изменяются в пространстве, и там это прекрасно осознают и отслеживают в своих психологических измерительных инструментах эти изменения. Между тем в России есть необходимые для этого технологии, но они не востребованы<sup>54</sup>, т.к. по-видимому, легче и главное прибыльнее заниматься профанацией, чем реальными исследованиями и разработками.

Таким образом, свойства социально-экономического, политического и психологического пространства-времени разные в разных местах и весьма динамично изменяются с течением физического времени. Если бы для них существовал какой-то обобщенный вариант теоремы Нётер, то можно было бы сделать предположение о несоблюдении в этих предметных областях законов сохранения. Может быть даже, что это играет существенную роль в прогрессе человеческого общества, экспоненциальном росте объемов знаний в обществе, капиталов и технологического потенциала. Известно, что преобразование Лапласа<sup>55</sup> и особенно дискретное z-преобразование Лорана<sup>56</sup>, описывают процесс затухания последствий от некоторой причины и в соответствующие интегралы и суммы входит экспоненциальный коэффициент затухания, т.к. если функция будут затухать медленнее, чем по экспоненте, то получается *расходящийся* интеграл (сумма), т.е. получается, что описываемая им причина будет иметь *бесконечные последствия*. Похоже, что общество как раз и является подобным бесконечным последствием, своего рода «эффектом бабочки»<sup>57</sup>.

---

<sup>53</sup> Чаще те, кто это делает, не имеют об этом ни малейшего представления, т.е. занимается профанацией.

<sup>54</sup> <http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>

<sup>55</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Преобразование%20Лапласа>

<sup>56</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Z-преобразование>

<sup>57</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект%20бабочки>



Но что делать, если обнаруживаются новые факты, которые неадекватно описываются или вообще не описываются существующей теорией или моделью? В этом случае эту теорию или модель необходимо развивать с учетом этих новых фактов (а не отрицать само существование этих «неудобных» фактов, что конечно проще), развивать так, чтобы эти новые факты тоже стали описываться теорией адекватно, так же как и все факты, известные до этого (*принцип соответствия*<sup>58</sup>). В терминологии, принятой АСК-анализе это означает следующее [245] (рисунок 3.20).

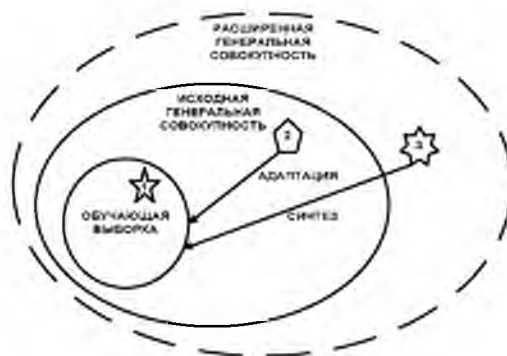


Рисунок 3.20 - К пояснению смысла понятий: «адаптация и пересинтез модели»

Новый факт («3» на рисунке 3.20) не описывается (не идентифицируется) адекватно существующей моделью, т.к. по-видимому, не относится к генеральной совокупности или периоду эргодичности, по отношению к которым репрезентативна обучающая выборка, на основе которой создана данная модель. В этом случае, для того чтобы восстановить адекватность модели, необходимо добавить данный факт к обучающей выборке (для чего обычно необходимо расширить классификационные и описательные шкалы градации) и произвести пересинтез модели. Это обеспечивает *качественное* изменение смысла признаков и образов классов, в результате чего предметная область адекватности модели, т.е. генеральная совокупность и период эргодичности расширяются.

**Рассмотрим численный пример**, демонстрирующий возможность выявления причинно-следственных связей между внутренней иерархической структурой системы и ее внешне наблюдаемыми на макроуровне системными или эмерджентными свойствами с применением технологий автоматизированного системно-когнитивного анализа и его программного инструментария – интеллектуальной системы «Эйдос». Рассмотрим также пример неадекватной идентификации объектов, не входящих в генеральную совокупность и пересинтез модели, позволяющий восстановить ее адекватность на более широкой генеральной совокупности (рисунок 7). Отметим, что автоматическое создание классификационных и описательных шкал и градаций для рассматриваемых ниже моделей при различных их параметрах обеспечивается стандартным режимом системы «Эйдос» \_159,

<sup>58</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Принцип%20соответствия>

который полностью автоматизирует этап формализации предметной области АСК-анализа и включен в систему для учебных целей<sup>59</sup>.

В качестве базовых элементов в полном соответствии с рисунком 2 будем рассматривать простые числа из диапазона от 2 до 7 включительно, а в качестве подсистем различных уровней иерархии – составные числа, образующиеся путем различных сочетаний базовых в качестве сомножителей по 1, 2, 3 и 4. Из этих базовых элементов путем их использования в качестве сомножителей во всех возможных различных сочетаниях по 1, 2, 3 и 4 образуются составные (сложные) числа, детерминирующие эмерджентные свойства числовых подсистем и системы в целом, в частности 0-го уровня эмерджентности, которому соответствуют свойства самих базовых элементов. Поэтому в качестве классов естественно рассматривать, как базовые элементы, так и составные числа (таблица 3.17).

Таблица 3.17 – Справочник классов

KOD	NAME
1	2 = 2
2	3 = 3
3	5 = 5
4	7 = 7
5	6 = 2 * 3
6	10 = 2 * 5
7	14 = 2 * 7
8	15 = 3 * 5
9	21 = 3 * 7
10	35 = 5 * 7
11	30 = 2 * 3 * 5
12	42 = 2 * 3 * 7
13	70 = 2 * 5 * 7
14	105 = 3 * 5 * 7
15	210 = 2 * 3 * 5 * 7

Если в качестве признаков также как и в качестве классов рассматривать свойства подсистем, то задача становится тривиальной, т.к. при этом справочники признаков и классов полностью *совпадают*. В этом случае чтобы сформировать модель мы в качестве *исходных* данных для нее должны предварительно выявить и указать связи между базовыми элементами и подсистемами, которые на рисунке 8 изображены в виде линий, соединяющих базовые элементы с составными числами, образованными на их основе. Но больший научный и практический интерес представляет задача *выявления* силы и направления этих связей между базовыми элементами и эмерджентными свойствами системы в целом. Поэтому в качестве признаков будем рассматривать только базовые элементы (таблица 3.18):

<sup>59</sup> Отметим, что модуль \_159 системы «Эйдос» поддерживает формализацию предметной области и для этого случая, как и многих других, но в данной работе мы соответствующие модели рассматривать не будем. В системе Эйдос-X++ есть значительно более мощный режим 2.3.2.2.

Таблица 3.18 – Справочник признаков

KOD	NAME
1	2
2	3
3	5
4	7

В качестве объектов обучающей выборки рассматриваются числовые подсистемы различных уровней иерархии, приведенные на рисунке 8, закодированные с использованием таблиц 3.17-3.18 (таблица 3.19):

Таблица 3.19 – Обучающая выборка

KOD	NAME	Уровень эмерджентности	Коды классов															Коды признаков						
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	3	4			
1	Obj 1	Нулевой	1																		1			
2	Obj 2		2																		2			
3	Obj 3		3																		3			
4	Obj 4		4																		4			
5	Obj 5	Первый	1	2	5															1	2			
6	Obj 6		1	3	6															1	3			
7	Obj 7		1	4	7															1	4			
8	Obj 8		2	3	8															2	3			
9	Obj 9		2	4	9															2	4			
10	Obj 10	3	4	10															3	4				
11	Obj 11	Второй	1	2	3	5	6	8	11										1	2	3			
12	Obj 12		1	2	4	5	7	9	12										1	2	4			
13	Obj 13		1	3	4	6	7	10	13										1	3	4			
14	Obj 14		2	3	4	8	9	10	14										2	3	4			
15	Obj 15	Третий	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	3	4			

На основе обучающей выборки посчитана матрица абсолютных частот (матрица сопряженности) (таблица 4), на основе которой с использованием четырех частных критериев знаний (таблица 3.15) получены четыре базы знаний, обеспечивающие различную среднюю достоверность с двумя интегральными критериями (таблица 3.20).

Таблица 3.20 – Матрица абсолютных частот (матрица сопряженностей)

Признаки		Классы (код, наименование, уровень эмерджентности)														
Код	Наимен.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		2	3	5	7	2*3	2*5	2*7	3*5	3*7	5*7	2*3*5	2*3*7	2*5*7	3*5*7	2*3*5*7
		0-й уровень эмерджентности				1-й уровень эмерджентности					2-й уровень эмерджентности					3-й УЭ
1	2	8	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	1	1
2	3	4	8	4	4	4	2	2	4	4	2	2	2	1	2	1
3	5	4	4	8	4	2	4	2	4	2	4	2	1	2	2	1
4	7	4	4	4	8	2	2	4	2	4	4	1	2	2	2	1

Смысл и поведение функций, приведенных в таблице 5, очень сходен, что очевидно из их математической формы. В работе [277] приведен более полный перечень функций, используемый в АСК-анализе и системе «Эйдос-Х++» для метризации шкал.

Из таблицы 6 видно, что наилучшей достоверностью по двум видам ошибок обладает модель СИМ-1 с интегральным критерием: «сумма информации» (свертка), поэтому база знаний этой модели и приводится в таблице 3.23.

Таблица 3.21 – Различные аналитические формы частных критериев знаний

Наименование модели знаний и частный критерий	Выражение для частного критерия	
	через относительные частоты	через абсолютные частоты
СИМ-1, частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу, 1-й вариант расчета вероятностей: $N_j$ – суммарное количество признаков по $j$ -му классу (предпоследняя строка таблицы 2)	$I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_i}$	$I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{N_{ij}N}{N_i N_j}$
СИМ-2, частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу, 2-й вариант расчета вероятностей: $N_j$ – суммарное количество объектов по $j$ -му классу (последняя строка таблицы 2)	$I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_i}$	$I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{N_{ij}N}{N_i N_j}$
СИМ-3, частный критерий: разности между фактическими и теоретически ожидаемыми по критерию хи-квадрат абсолютными частотами	---	$I_{ij} = N_{ij} - \frac{N_i N_j}{N}$
СИМ-4, частный критерий: ROI - Return On Investment	$I_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_i} - 1 = \frac{P_{ij} - P_i}{P_i}$	$I_{ij} = \frac{N_{ij}N}{N_i N_j} - 1$
СИМ-5, частный критерий: разность условной и безусловной вероятностей	$I_{ij} = P_{ij} - P_i$	$I_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j} - \frac{N_i}{N}$

Таблица 3.22 – Достоверность моделей с разными количественными критериями знаний и разными интегральными критериями [10, 11]

Наименование модели	Вид интегрального критерия	Расчет проведен		Достоверность		
		Дата	Идентификации	Идентификации	Идентификации	Средняя
СИМ-4	Корреляция	02-01-12	09:40:57	100,000	63,306	81,653
	Свертка	02-01-12	09:41:00	100,000	63,306	81,653
СИМ-3	Корреляция	02-01-12	09:41:04	100,000	63,306	81,653
	Свертка	02-01-12	09:41:06	100,000	63,306	81,653
СИМ-2	Корреляция	02-01-12	09:41:10	100,000	63,306	81,653
	Свертка	02-01-12	09:41:12	33,858	75,403	54,631
СИМ-1	Корреляция	02-01-12	09:41:17	100,000	63,306	81,653
	Свертка	02-01-12	09:41:20	100,000	77,823	88,911

Таблица 3.23 – Матрица знаний СИМ-1 (Биты × 1000)

Признаки		Классы (код, наименование, уровень эмерджентности)														
Код	Наимен.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		2	3	5	7	2*3	2*5	2*7	3*5	3*7	5*7	2*3*5	2*3*7	2*5*7	3*5*7	2*3*5*7
		0-й уровень эмерджентности					1-й уровень эмерджентности					2-й уровень эмерджентности			3-й УЭ	
1	2	352	-167	-167	-167	216	216	216	-304	-304	-304	100	100	100	-419	0
2	3	-167	352	-167	-167	216	-304	-304	216	216	-304	100	100	-419	100	0
3	5	-167	-167	352	-167	-304	216	-304	216	-304	216	100	-419	100	100	0
4	7	-167	-167	-167	352	-304	-304	216	-304	216	216	-419	100	100	100	0

База знаний, приведенная в таблице 3.23, является решением проблемы поставленной в разделе, т.к. отражает силу и направление влияния

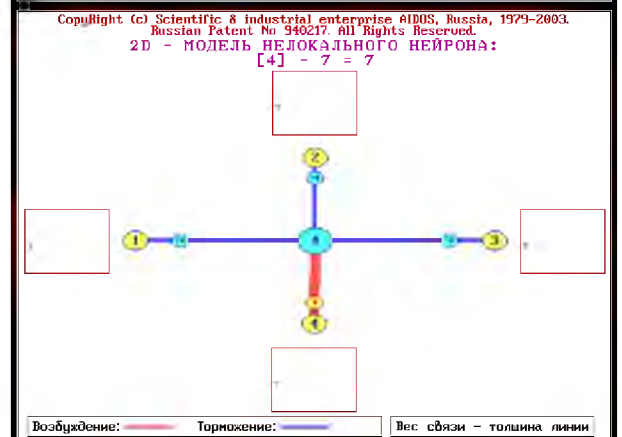
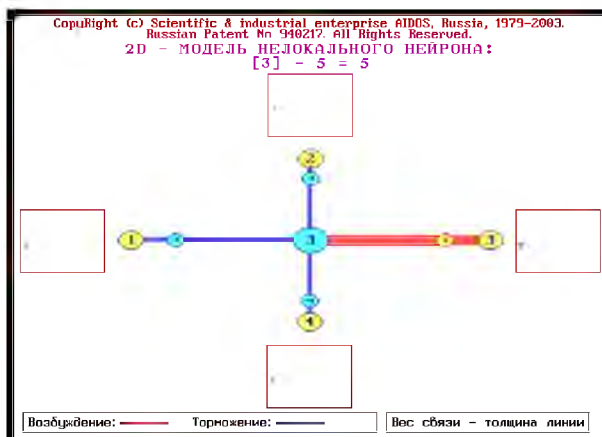
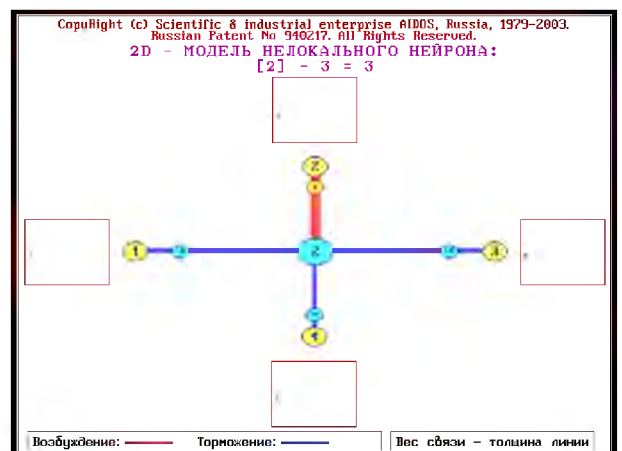
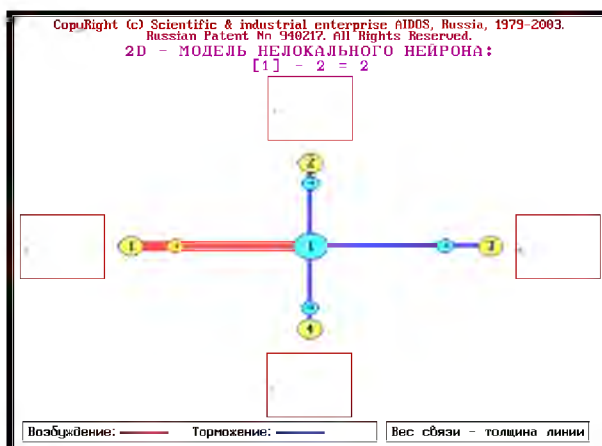


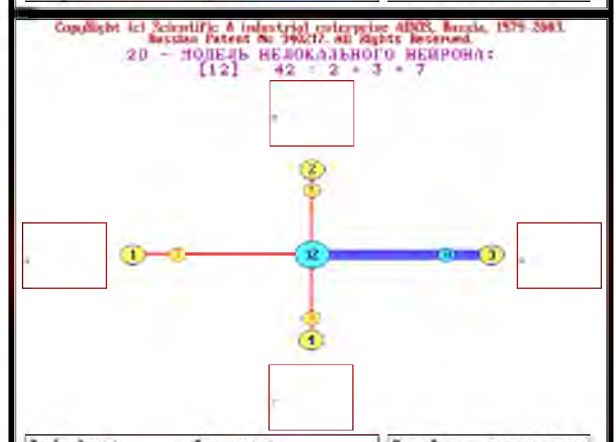
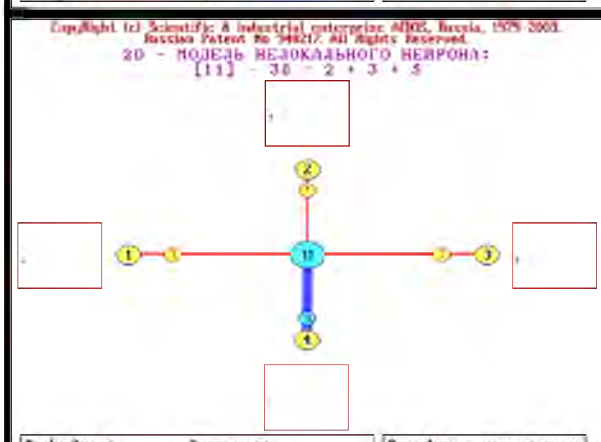
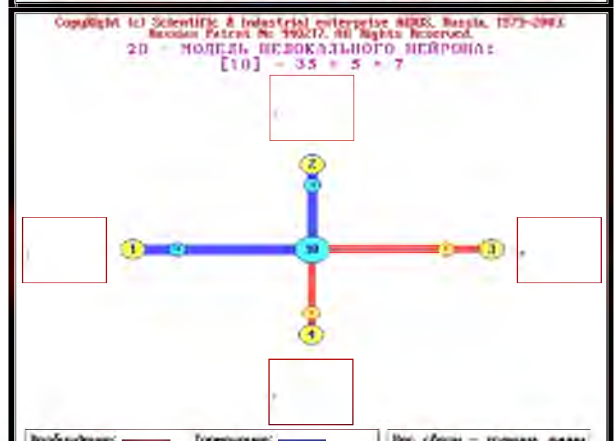
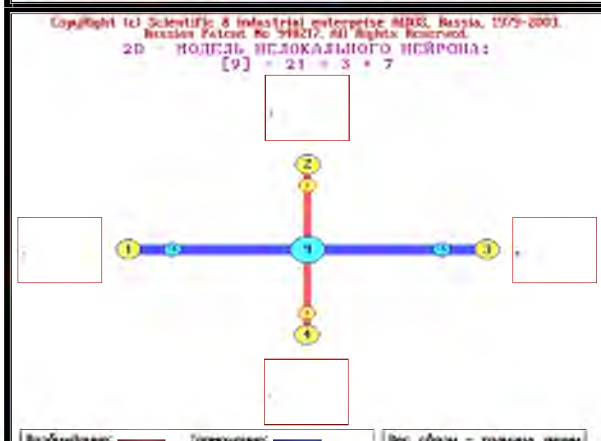
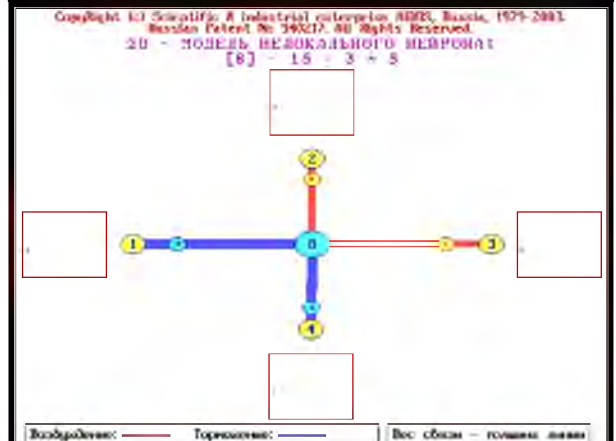
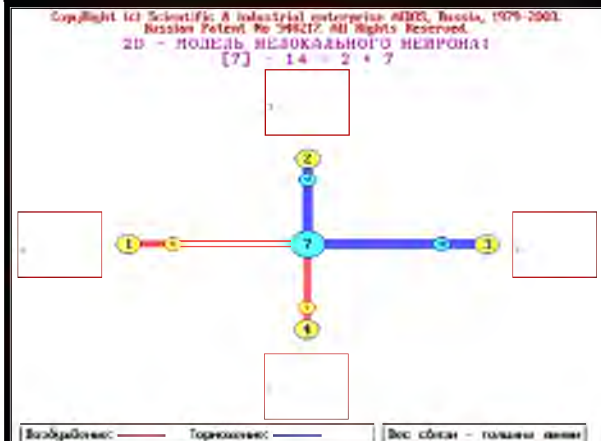
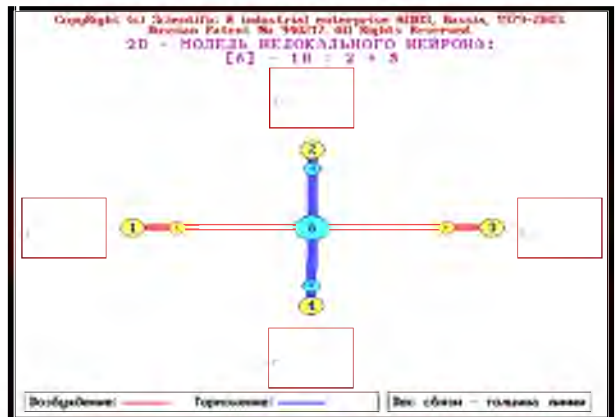
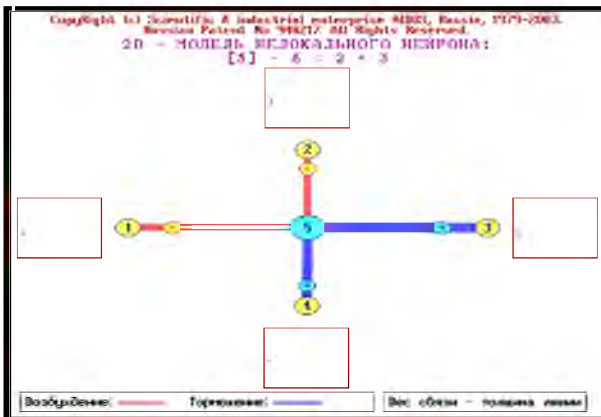
подсистем различных уровней иерархии на эмерджентные свойства системы в целом, причем в единой сопоставимой форме в единицах измерения информации и знаний: миллибитах. Знак чисел в таблице 3.23 показывает направление связи, а величина модуля – силу связи между признаками и классами.

При малой размерности модели таблица 3.23 может быть непосредственно обозримой и понятной для исследователя, поэтому в данной работе и приведена подобная модель. Однако при больших размерностях модели необходимы специальные режимы, позволяющие делать различные выборки из базы знаний и представлять информацию в удобной, понятной и наглядной форме. Для этой цели в системе «Эйдос» есть ряд режимов, позволяющих выводить информационные портреты классов и признаков, а также когнитивные функции (функции влияния) и другие текстовые и графические формы (которых более 110 различных видов).

Ниже кратко рассмотрим некоторые из них. Нелокальные нейроны и интерпретируемые нейронные сети позволяют в наглядной графической форме отобразить систему детерминации будущих состояний [138].

**Нелокальный нейрон** представляет собой будущее состояние объекта управления с изображением наиболее сильно влияющих на него факторов с указанием силы и направления (способствует-препятствует) их влияния (рисунок 3.21).





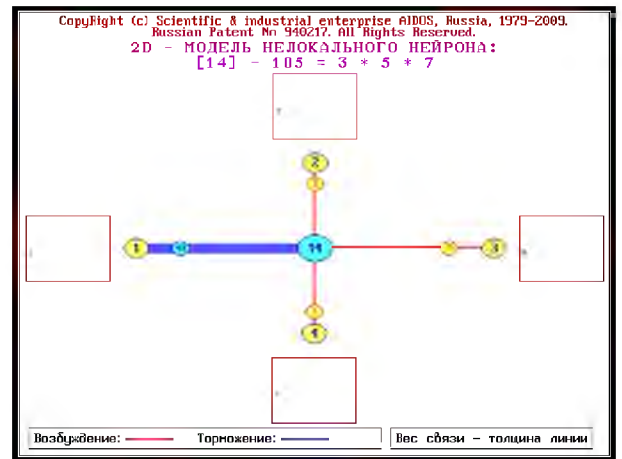
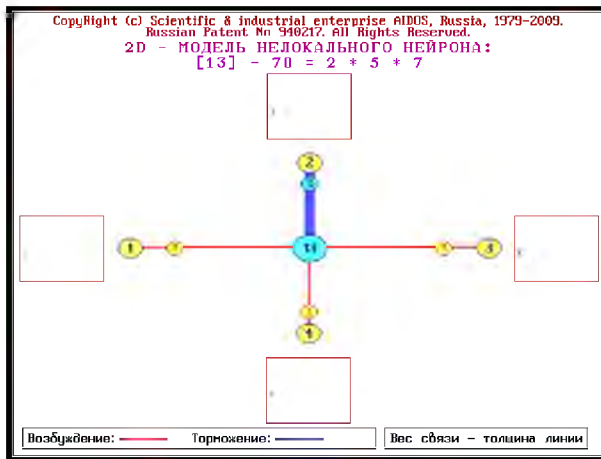


Рисунок 3.21. Отображение базы знаний (таблица 3.23) в форме нелокальных нейронов [138]

Нелокальная нейронная сеть представляет собой совокупность взаимосвязанных нейронов. В классических нейронных сетях связь между нейронами осуществляется по входным и выходным сигналам, а в нелокальных нейронных сетях – на основе общего информационного поля, реализуемого семантической информационной моделью. Система "Эйдос" обеспечивает построение любого подмножества многослойной нейронной сети с заданными или выбираемыми по заданным критериям рецепторами и нейронами, связанными друг с другом связями любого уровня опосредованности (рисунок 3.22).

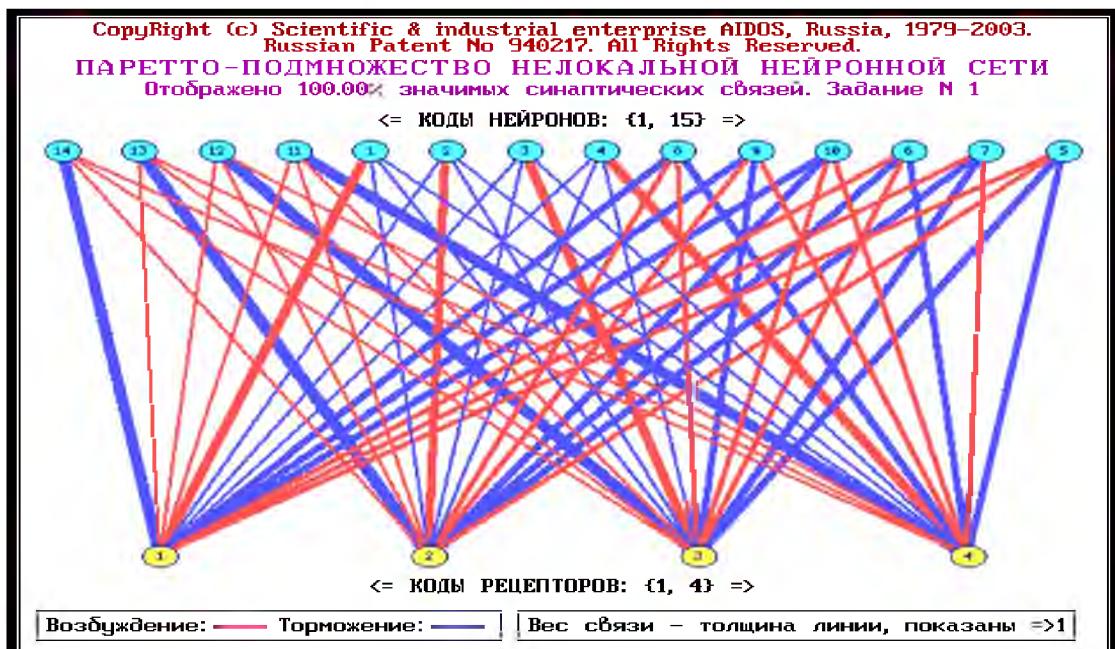


Рисунок 3.22 - Отображение базы знаний (таблица 7) в форме Парето-подмножества нелокальной нейронной сети [138]

С использованием знаний о силе и направлении связей между составом и иерархической структурой системы, с одной стороны, и ее эмерджентными свойствами как целого, с другой стороны, приведенными в таблице 3.21 и рисунках 3.22-3.23 можно изобразить иерархическую



структур системы, приведенную на рисунке 3.23, с графическим указанием силы и направления связи между базовыми элементами системы и ее эмерджентными свойствами в форме толщины и цвета линий (рисунок 3.22).

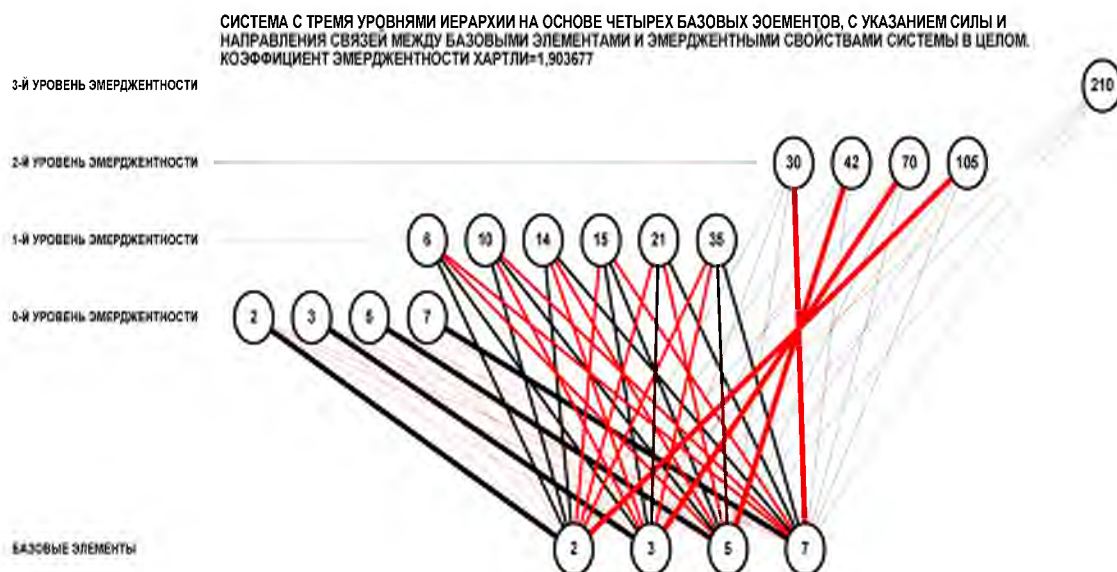


Рисунок 3.23 - Пример системы сложных чисел, основанных на 4 простых числах с указанием силы и направления связи между базовыми элементами системы и ее эмерджентными свойствами в форме толщины и цвета линий

На рисунке 10 толщина линии пропорциональна силе связи, черный цвет обозначает положительную связь, а красный – отрицательную. Из сравнения рисунков 9 и 10 можно сделать обоснованный вывод том, что АСК-анализ и его программный инструментарий – интеллектуальная система «Эйдос» обеспечивают выявление силы и направления связей между базовыми элементами системы и ее эмерджентными свойствами в целом на основе эмпирических данных и отображение внутренней иерархической структуры конкретной системы в наглядной графической форме нелокальной нейронной сети.

Анализ приведенного численного примера и нейронной сети на рисунке 10 дает нам основания сформулировать *гипотезу «О зависимости силы и направления связей связи между базовыми элементами системы и ее эмерджентными свойствами в целом от уровня иерархии в системе»: чем выше уровень иерархии в системе, тем слабее положительные и сильнее отрицательные связи между базовыми элементами системы и ее эмерджентными свойствами в целом*, т.к., возможно, это является конкретным проявлением соответствующей общей закономерности.

*Информационный портрет класса* – это список факторов, ранжированных в порядке убывания силы их влияния на переход объекта управления в состояние, соответствующее данному классу. Информационный портрет класса отражает систему его детерминации. Генерация информационного портрета класса представляет собой решение обратной задачи прогнозирования, т.к. при прогнозировании по системе факторов определяется спектр наиболее вероятных будущих состояний объекта

управления, в которые он может перейти под влиянием данной системы факторов, а в информационном портрете мы наоборот, по заданному будущему состоянию объекта управления определяем систему факторов, детерминирующих это состояние, т.е. вызывающих переход объекта управления в это состояние. В начале информационного портрета класса идут факторы, оказывающие положительное влияние на переход объекта управления в заданное состояние, затем факторы, не оказывающие на это существенного влияния, и далее – факторы, препятствующие переходу объекта управления в это состояние (в порядке возрастания силы препятствования). Информационные портреты классов могут быть *отфильтрованы* по диапазону факторов, т.е. мы можем отобразить влияние на переход объекта управления в данное состояние не всех отраженных в модели факторов, а только тех, коды которых попадают в определенный диапазон, например, относящиеся к определенным описательным шкалам. Пример информационного портрета класса приведен в таблице 3.24:

Таблица 3.24 – Информационный портрет класса:  
код: 11, наименование: 30=2\*3\*5

№	Признак		Количество информации	
	Код	Наименование	В Битах	В % от теоретически максимально возможного
1	1	2	0,10004	2,56
2	2	3	0,10004	2,56
3	3	5	0,10004	2,56
4	4	7	-0,41925	-10,73

Таким образом, информационный портрет класса содержит ту же информацию, что и нелокальный нейрон, но в форме таблицы.

*Информационный (семантический) портрет фактора* – это список классов, ранжированный в порядке убывания силы влияния данного фактора на переход объекта управления в состояния, соответствующие данным классам. Информационный портрет фактора называется также его *семантическим портретом*, т.к. в соответствии с концепцией смысла системно-когнитивного анализа, являющейся обобщением концепции смысла Шенка-Абельсона, *смысл фактора состоит в том, какие будущие состояния объекта управления он детерминирует*. Сначала в этом списке идут состояния объекта управления, на переход в которые данный фактор оказывает наибольшее влияние, затем состояния, на которые данный фактор не оказывает существенного влияния, и далее состояния – переходу в которые данный фактор препятствует. Информационные портреты факторов могут быть *отфильтрованы* по диапазону классов, т.е. мы можем отобразить влияние данного фактора на переход объекта управления не во все возможные будущие состояния, а только в состояния, коды которых попадают в определенный диапазон, например, относящиеся к определенным классификационным шкалам. Пример информационного портрета признака (значения фактора) приведен в таблице 9:

Таблица 3.25 – Информационный портрет признака:  
код: 11, наименование: 30=2\*3\*5

№	Класс		Количество информации	
	Код	Наименование	В Битах	В % от теоретически максимально возможного
1	1	2 = 2	0,35211	9,01
2	5	6 = 2 * 3	0,21552	5,52
3	6	10 = 2 * 5	0,21552	5,52
4	7	14 = 2 * 7	0,21552	5,52
5	11	30 = 2 * 3 * 5	0,10004	2,56
6	12	42 = 2 * 3 * 7	0,10004	2,56
7	13	70 = 2 * 5 * 7	0,10004	2,56
8	15	210 = 2 * 3 * 5 * 7	0,00000	0,00
9	2	3 = 3	-0,16717	-4,28
10	3	5 = 5	-0,16717	-4,28
11	4	7 = 7	-0,16717	-4,28
12	8	15 = 3 * 5	-0,30376	-7,77
13	9	21 = 3 * 7	-0,30376	-7,77
14	10	35 = 5 * 7	-0,30376	-7,77
15	14	105 = 3 * 5 * 7	-0,41925	-10,73

*Когнитивные функции (функции влияния)* [12] представляет собой график зависимости вероятностей перехода объекта управления в будущие состояния под влиянием различных значений некоторого фактора. Если взять несколько информационных портретов факторов, соответствующих градациям одной описательной шкалы, отфильтровать их по диапазону градаций некоторой классификационной шкалы и взять из каждого информационного портрета по одному состоянию, на переход в которое объекта управления данная градация фактора оказывает наибольшее влияние, то мы и получим зависимость, отражающую вероятность перехода объекта управления в будущие состояния под влиянием различных значений некоторого фактора, т.е. функцию влияния. Функции влияния являются наиболее развитым средством изучения причинно-следственных зависимостей в моделируемой предметной области, предоставляемым системой "Эйдос". Необходимо отметить, что на вид функций влияния математической моделью СК-анализа не накладывается никаких ограничений, в частности, они могут быть и *нелинейные*. Пример нередуцированной когнитивной функции, генерируемой режимом \_54 системы «Эйдос», приведен на рисунке 3.26.

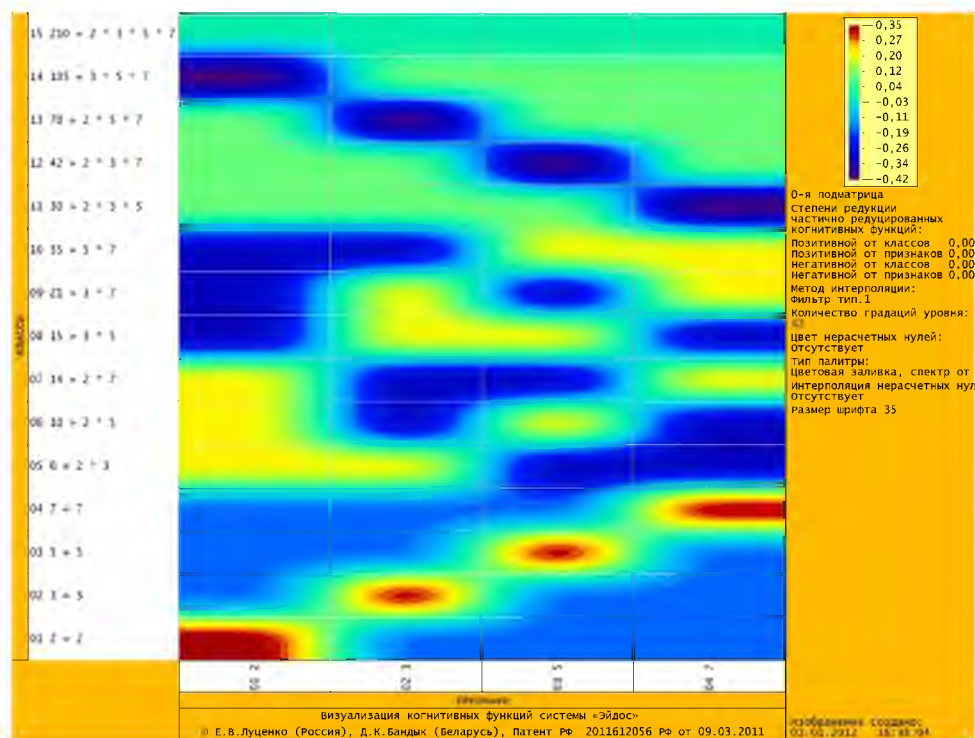


Рисунок 3.26 - Пример нередуцированной когнитивной функции

*Классические когнитивные карты* являются графической формой представления фрагментов СИМ, объединяющей достоинства таких форм, как нейроны и семантические сети факторов. Классическая когнитивная карта представляет собой нейрон, соответствующий некоторому состоянию объекта управления с рецепторами, каждый из которых соответствует фактору в определенной степени способствующему или препятствующему переходу объекта в это состояние. Рецепторы соединены связями как с нейроном, так и друг с другом. Связи рецепторов с нейроном отражают силу и направление влияния факторов, а связи рецепторов друг с другом, отображаемые в форме семантической сети факторов, – сходство и различие между рецепторами по характеру их влияния на объект управления. Таким образом, классическая когнитивная карта представляет собой нейрон с семантической сетью факторов, изображенные на одной диаграмме.

*Обобщенные когнитивные карты* позволяют объединить в одной графической форме семантические сети классов и факторов, объединенных нейронной сетью. Если объединить несколько классических когнитивных карт на одной диаграмме и изобразить на ней также связи между нейронами в форме семантической сети классов, то получим обобщенную (интегральную) когнитивную карту. Система "Эйдос" обеспечивает построение любого подмножества многоуровневой семантической информационной модели с заданными или выбираемыми по заданным критериям рецепторами и нейронами, связанными друг с другом связями любого уровня опосредованности в форме классических и обобщенных когнитивных карт. В частности, в системе полуавтоматически формируется задание на генерацию подмножеств обобщенной когнитивной карты. Пример



интегральной когнитивной карты для построенной модели приведен на рисунке 3.27.

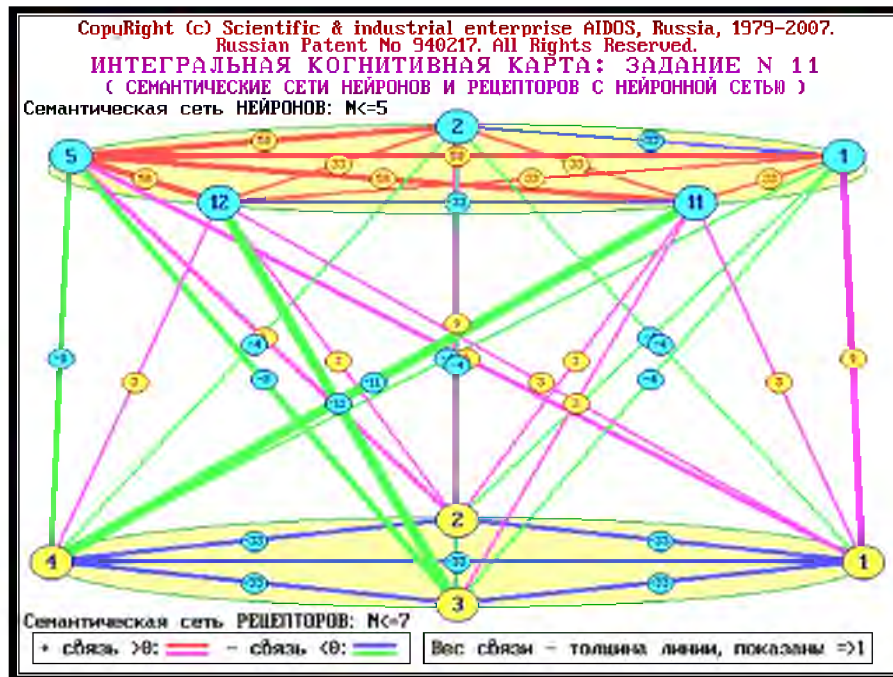


Рисунок 3.27 - Пример интегральной когнитивной карты для построенной модели

Матрица сходства классов по системе их детерминации представлена в таблице 3.26.

Таблица 3.26 - Матрица сходства классов по системе их детерминации

KOD	NAME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2 = 2	100	-33	-33	-33	58	58	58	-58	-58	-58	33	33	33	-100	0
2	3 = 3	-33	100	-33	-33	58	-58	-58	58	58	-58	33	33	-100	33	0
3	5 = 5	-33	-33	100	-33	-58	58	-58	58	-58	58	33	-100	33	33	0
4	7 = 7	-33	-33	-33	100	-58	-58	58	-58	58	58	-100	33	33	33	0
5	6 = 2 * 3	58	58	-58	-58	100	0	0	0	0	-100	58	58	-58	-58	0
6	10 = 2 * 5	58	-58	58	-58	0	100	0	0	-100	0	58	-58	58	-58	0
7	14 = 2 * 7	58	-58	-58	58	0	0	100	-100	0	0	-58	58	58	-58	0
8	15 = 3 * 5	-58	58	58	-58	0	0	-100	100	0	0	58	-58	-58	58	0
9	21 = 3 * 7	-58	58	-58	58	0	-100	0	0	100	0	-58	58	-58	58	0
10	35 = 5 * 7	-58	-58	58	58	-100	0	0	0	0	100	-58	-58	58	58	0
11	30 = 2 * 3 * 5	33	33	33	-100	58	58	-58	58	-58	-58	100	-33	-33	-33	0
12	42 = 2 * 3 * 7	33	33	-100	33	58	-58	58	-58	58	-58	-33	100	-33	-33	0
13	70 = 2 * 5 * 7	33	-100	33	33	-58	58	58	-58	-58	58	-33	-33	100	-33	0
14	105 = 3 * 5 * 7	-100	33	33	33	-58	-58	-58	58	58	58	-33	-33	-33	100	0
15	210 = 2 * 3 * 5 * 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Любая подматрица матрицы сходства (таблица 10) (или любой заданный набор классов) может быть представлена в графическом виде в форме ориентированного графа – семантической сети (рисунок 13), которая в ряде работ называется также когнитивной диаграммой:



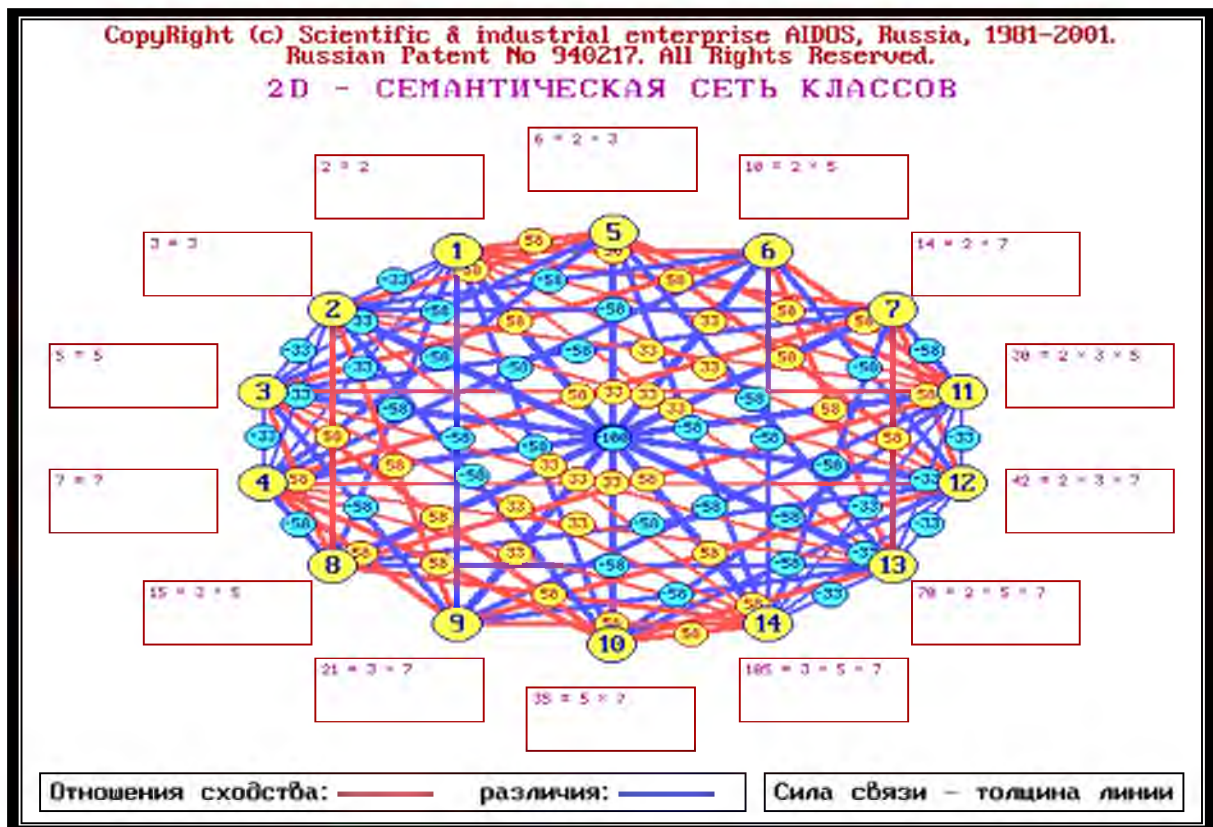


Рисунок 3.28 - Матрицы сходства классов (таблица 3.26),  
представленная в форме семантической сети классов

В таблице 3.27 представлен конструкт, представляющий собой систему  
противоположных кластеров со спектром промежуточных классов:

Таблица 3.27 – Конструкт: «6-35»

№	Код	Наименование	Уровень сходства %
1	5	$6 = 2 * 3$	100,00
2	1	$2 = 2$	57,74
3	2	$3 = 3$	57,74
4	11	$30 = 2 * 3 * 5$	57,74
5	12	$42 = 2 * 3 * 7$	57,74
6	3	$5 = 5$	-57,74
7	4	$7 = 7$	-57,74
8	13	$70 = 2 * 5 * 7$	-57,74
9	14	$105 = 3 * 5 * 7$	-57,74
10	10	$35 = 5 * 7$	-100,00

На основе матрицы сходства (таблица 3.27) может быть проведена  
когнитивная кластеризация [248], результаты которой представлены на  
рисунках 3.29–3.30.

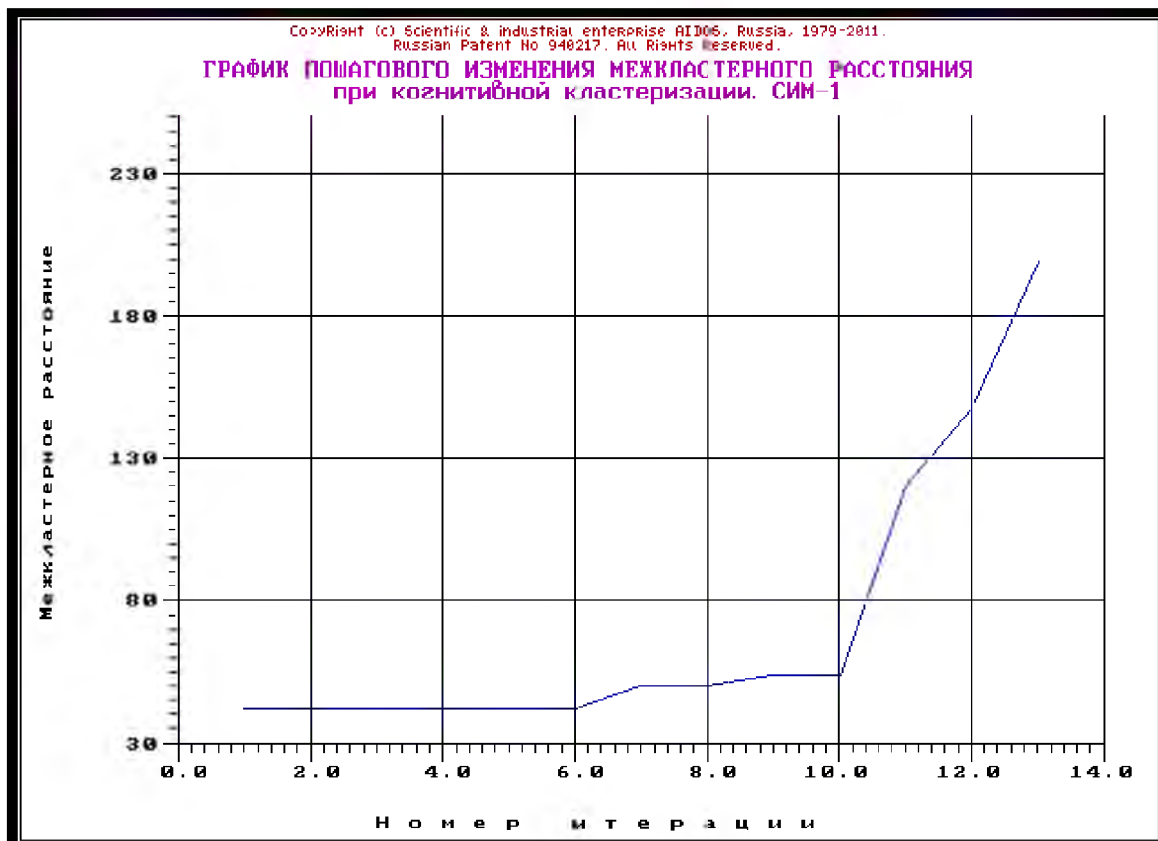


Рисунок 3.29 - График пошагового изменения межкластерного расстояния при когнитивной кластеризации в СИМ-1

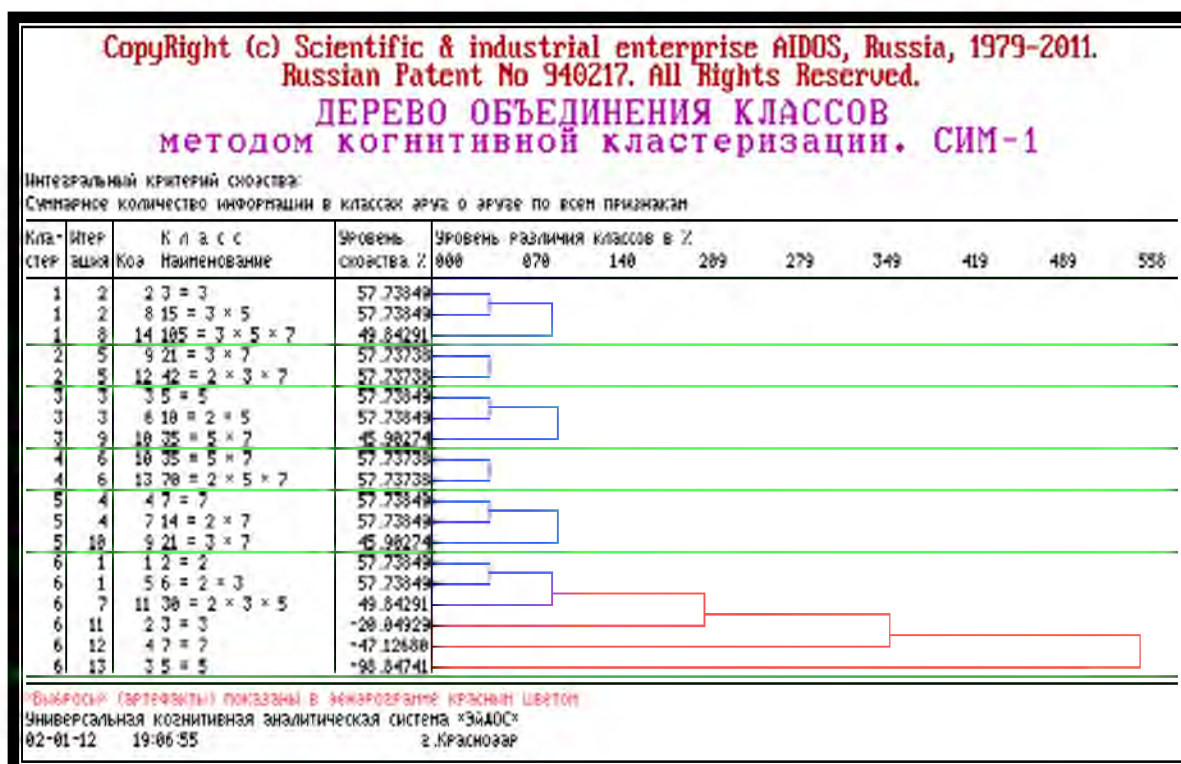


Рисунок 3.30 - Дендрограмма когнитивной кластеризации в СИМ-1

На рисунке 3.31 приведены результаты идентификации объекта распознаваемой выборки с классами, а на рисунке 3.32 – класса с объектами:

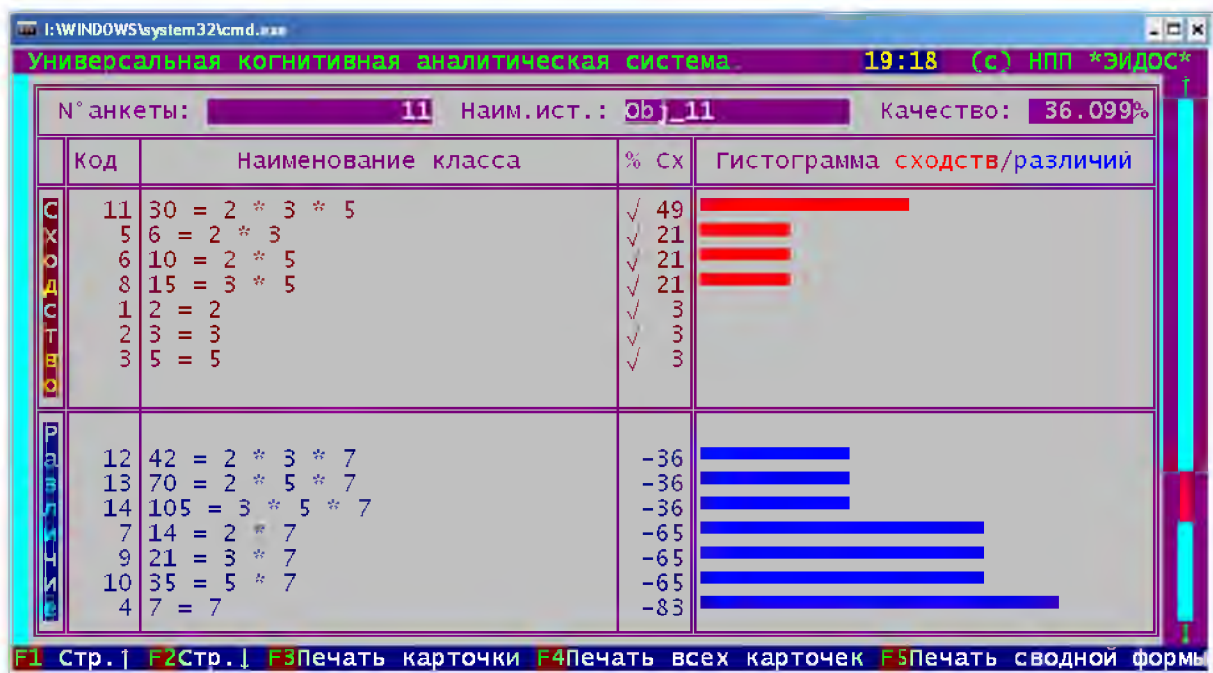


Рисунок 3.31 - Результат идентификации объекта с классами (экранная форма)



Рисунок 3.32 - Результат идентификации классами с объектами (экранная форма)

При добавлении еще одного базового элемента (например, простого числа: 11) без пересинтеза модели объекты, включающие этот базовый элемент, идентифицируются так же, как будто его нет. Например, результат идентификации объекта:  $330 = 2 * 3 * 5 * 11$  в этой модели будут такими же, как показано на рисунке 16, т.е. данный объект будет неверно идентифицироваться как  $30 = 2 * 3 * 5$ . Это является признаком необходимости обобщения модели, т.е. создания модели, адекватно

отражающей как все предыдущие, так и новые факты. Создание этой более общей модели обеспечивается выполнением следующих шагов:

- добавлением в справочник классов, соответствующих объектам, включающим данный элемент;
- добавлением данного базового элемента в справочник признаков;
- добавлением этого объекта и других объектов, включающих данный базовый элемент, в обучающую выборку;
- пересинтезом модели;
- проверкой ее на адекватность, в т.ч. на новых фактах.

Результат выполнения этих шагов представлен в таблицах 12-16:

Таблица 3.27 - Справочник классов более общей модели

KOD	NAME	KOD	NAME	KOD	NAME
1	2 = 2	11	21 = 3 * 7	21	154 = 2 * 7 * 11
2	3 = 3	12	33 = 3 * 11	22	105 = 3 * 5 * 7
3	5 = 5	13	35 = 5 * 7	23	165 = 3 * 5 * 11
4	7 = 7	14	55 = 5 * 11	24	231 = 3 * 7 * 11
5	11 = 11	15	77 = 7 * 11	25	385 = 5 * 7 * 11
6	6 = 2 * 3	16	30 = 2 * 3 * 5	26	210 = 2 * 3 * 5 * 7
7	10 = 2 * 5	17	42 = 2 * 3 * 7	27	330 = 2 * 3 * 5 * 11
8	14 = 2 * 7	18	66 = 2 * 3 * 11	28	462 = 2 * 3 * 7 * 11
9	22 = 2 * 11	19	70 = 2 * 5 * 7	29	770 = 2 * 5 * 7 * 11
10	15 = 3 * 5	20	110 = 2 * 5 * 11	30	1155 = 3 * 5 * 7 * 11

Таблица 3.28 – Справочник признаков более общей модели

KOD	NAME
1	2
2	3
3	5
4	7
5	11

Таблица 3.29 – Обучающая выборка более общей модели

KOD	NAME	Коды классов															Коды признаков			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1	2	3	4
1	Obj 1	1															1			
2	Obj 2	2															2			
3	Obj 3	3															3			
4	Obj 4	4															4			
5	Obj 5	5															5			
6	Obj 6	1	2	6													1	2		
7	Obj 7	1	3	7													1	3		
8	Obj 8	1	4	8													1	4		
9	Obj 9	1	5	9													1	5		
10	Obj 10	2	3	10													2	3		
11	Obj 11	2	4	11													2	4		
12	Obj 12	2	5	12													2	5		
13	Obj 13	3	4	13													3	4		
14	Obj 14	3	5	14													3	5		
15	Obj 15	4	5	15													4	5		
16	Obj 16	1	2	3	6	7	10	16									1	2	3	
17	Obj 17	1	2	4	6	8	11	17									1	2	4	
18	Obj 18	1	2	5	6	9	12	18									1	2	5	
19	Obj 19	1	3	4	7	8	13	19									1	3	4	
20	Obj 20	1	3	5	7	9	14	20									1	3	5	



21	Obj 21	1	4	5	8	9	15	21										1	4	5		
22	Obj 22	2	3	4	10	11	13	22											2	3	4	
23	Obj 23	2	3	5	10	12	14	23											2	3	5	
24	Obj 24	2	4	5	11	12	15	24											2	4	5	
25	Obj 25	3	4	5	13	14	15	25											3	4	5	
26	Obj 26	1	2	3	4	6	7	8	10	11	13	16	17	19	22	26			1	2	3	4
27	Obj 27	1	2	3	5	6	7	9	10	12	14	16	18	20	23	27			1	2	3	5
28	Obj 28	1	2	4	5	6	8	9	11	12	15	17	18	21	24	28			1	2	4	5
29	Obj 29	1	3	4	5	7	8	9	13	14	15	19	20	21	25	29			1	3	4	5
30	Obj 30	2	3	4	5	10	11	12	13	14	15	22	23	24	25	30			2	3	4	5

Таблица 3.30 – Оценка адекватности более общей модели

Наименование модели	Вид интегрального критерия	Расчет проведен		Достоверность		
		Дата	Идентификации	Идентификации	Идентификации	Средняя
СИМ-4	Корреляция	03-01-12	11:29:19	100,000	73,171	86,585
	Свертка	03-01-12	11:29:24	100,000	73,171	86,585
СИМ-3	Корреляция	03-01-12	11:29:32	100,000	73,171	86,585
	Свертка	03-01-12	11:29:37	100,000	73,171	86,585
СИМ-2	Корреляция	03-01-12	11:29:44	100,000	73,171	86,585
	Свертка	03-01-12	11:29:50	56,137	71,137	63,637
СИМ-1	Корреляция	03-01-12	11:29:59	100,000	73,171	86,585
	Свертка	03-01-12	11:30:04	70,179	87,400	78,789

Таблица 3.31 – Результат идентификации объекта с классами в более общей модели (выходная форма)

РЕЗУЛЬТАТ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ИСТОЧНИКА С КЛАССАМИ РАСПОЗНАВАНИЯ  
03-01-12

11:38:26

Номер анкеты:	27	Наим. объ. источника:	Obj_27	Качество результата распозн.: :	36.794%
Код	Наименование класса распознавания			% Сх	Гистограмма сходств/различий
27	33B = 2 * 3 * 5 * 11			↓ 80	
16	3B = 2 * 3 * 5			↓ 49	
18	66 = 2 * 3 * 11			↓ 49	
20	11B = 2 * 5 * 11			↓ 49	
23	165 = 3 * 5 * 11			↓ 49	
6	6 = 2 * 3			↓ 33	
7	18 = 2 * 5			↓ 33	
9	22 = 2 * 11			↓ 33	
10	15 = 3 * 5			↓ 33	
12	33 = 3 * 11			↓ 33	
14	55 = 5 * 11			↓ 33	
1	2 = 2			↓ 20	
2	3 = 3			↓ 20	
3	5 = 5			↓ 20	
5	11 = 11			↓ 20	
26	21B = 2 * 3 * 5 * 7			-20	
28	462 = 2 * 3 * 7 * 11			-20	
29	77B = 2 * 5 * 7 * 11			-20	
30	1155 = 3 * 5 * 7 * 11			-20	
17	42 = 2 * 3 * 7			-33	
19	78 = 2 * 5 * 7			-33	
21	154 = 2 * 7 * 11			-33	
22	185 = 3 * 5 * 7			-33	
24	231 = 3 * 7 * 11			-33	
25	385 = 5 * 7 * 11			-33	
8	14 = 2 * 7			-49	
11	21 = 3 * 7			-49	
13	35 = 5 * 7			-49	
15	77 = 7 * 11			-49	
4	7 = 7			-80	

Универсальная когнитивная аналитическая система

ИИП «ЭИДОС»

Из сравнения таблицы 16 с рисунком 16 видно, что полученная нами обобщенная модель удовлетворяет принципу соответствия с предыдущей моделью, т.к. дает вполне разумные результаты идентификации как объектов, верно идентифицируемых в старой модели, так и новых объектов, которые ранее идентифицировались неадекватно. Таким образом, подход, представленный на рисунке 7, дает ожидаемые положительные результаты.

**Выводы.** Таким образом, в разделе на простом, но универсальном численном примере рассмотрено применение автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ) и его программного инструментария – интеллектуальной системы «Эйдос» для выявления и исследования детерминации эмерджентных макросвойств систем их составом и иерархической структурой, т.е. подсистемами различной сложности (уровней иерархии). Тем самым продемонстрирована возможность решения этой проблемы в широком круге предметных областей с применением технологии и инструментария АСК-анализа.

Кратко обсуждаются некоторые методологические вопросы создания и применения формальных моделей в научном познании.

Предложены:

– системное обобщение принципа Уильяма Росса Эшби о необходимом разнообразии на основе системного обобщения теории множеств и системной теории информации;

– обобщенная формулировка принципа относительности Галилея-Эйнштейна, применимая не только в физике, но и в других науках, в частности в экономике, социологии и психологии;

– гипотеза о связи обобщенного принципа относительности с теоремой Эмми Нётер;

– гипотеза «О зависимости силы и направления связей между базовыми элементами системы и ее эмерджентными свойствами в целом от уровня иерархии в системе».

Системное обобщение принципа Эшби и следствие из него: «Чем больше различных сочетаний значений факторов действует на объект управления, тем выше степень детерминированности управления им», следовательно «Степень детерминированности управления системой тем выше, чем выше ее эмерджентность (уровень системности), количественно измеряемая коэффициентом эмерджентности Хартли». Коэффициенты эмерджентности Хартли и Харкевича можно обоснованно считать количественным выражением системного обобщения принципа Эшби.

Обобщенный принцип относительности Галилея-Эйнштейна: «Законы природы открытые в одном месте и в определенное время действуют и в других местах и в другое время», поэтому по виду законов природы в замкнутой лаборатории невозможно определить в каком месте (пространства) и в каком времени эта лаборатория находится, т.е. по виду законов природы внутри лаборатории невозможно локализовать ее в пространстве-времени. Из обобщенного принципа относительности вытекает важное следствие том, что способ определения степени истинности реальности сам должен быть истинным, чтобы давать истинные результаты, и сам не должен относиться к той реальности, которая с помощью него оценивается. Обобщенный принцип относительности применим не только в физике, но и в других науках, в частности в экономике, социологии и психологии. Но в отличие от физики другие науки не только основаны на применении этого принципа, хотя и в явном виде не формулировали его, но и

их исследования во многом состоят в изучении отклонений от этого принципа.

Гипотеза о связи обобщенного принципа относительности с теоремой Эмми Нётер: «Принцип относительности выполняется по тем же причинам, по которым существуют законы сохранения и этими причинами являются симметрии пространства-времени».

Гипотеза «О зависимости силы и направления связей между базовыми элементами системы и ее эмерджентными свойствами в целом от уровня иерархии в системе»: «Чем выше уровень иерархии в системе, тем слабее положительные и сильнее отрицательные связи между базовыми элементами системы и ее эмерджентными свойствами в целом».

Материалы работы могут быть использованы при проведении лекционных и лабораторных занятий по дисциплинам: «Интеллектуальные информационные системы» и «Концепции современного естествознания» для различных специальностей, а также для решения перечисленных в начале работы и других задач того же типа в различных предметных областях.

### ***2.3.3.3 Коэффициент эмерджентности классических и квантовых статистических систем***

В данном разделе изложение полностью основано на работе [270], нумерация формул, рисунков и таблиц сохранены.

В классической теории информации Хартли-Шеннона понятие информации определяется на основе теоретико-множественных и комбинаторных представлений на основе анализа поведения классического макрообъекта, который может переходить только в четко фиксированные альтернативные редуцированные состояния, например монета, может упасть либо на "орел", либо на "решку". Если эти варианты равновероятны, то при реализации одного из них по формуле Хартли мы получаем информацию в 1 бит, при реализации одного из  $W$  равновероятных состояний мы получаем информацию  $I = \log_2 W$  бит, если неравновероятны, то для расчета среднего количества информации используется формула Шеннона [97].

Однако квантовые объекты могут быть одновременно в двух и более альтернативных для классических объектов состояниях [2]. Такие состояния будем называть смешанными.

Например, электрон может интерферировать, проходя одновременно через две щели<sup>60</sup> [2]. При этом наблюдаются эффекты, не сводящиеся к суперпозиции классических состояний, т.е. имеющие существенно квантовый, системный, эмерджентный, нелинейный характер.

---

<sup>60</sup> Feynman, Richard P. The Character of Physical Law: The 1964 Messenger Lectures. MIT Press, 1967.

Поэтому классическая теория информации Хартли-Шеннона может быть обобщена путем рассмотрения квантовых систем в качестве объектов, на основе анализа поведения которых формируется само основополагающее понятие информации. Обобщенную таким образом теорию информации предлагается называть системной или эмерджентной теорией информации.

Основным отличием эмерджентной теории информации от классической является учет свойства системности, как фундаментального и универсального свойства всех объектов, на уровне самого понятия информации. Достаточно рассмотреть квантовое обобщение теории Хартли, т.к. путь вывода теории Шеннона из теории Хартли хорошо известен [97].

В работе<sup>61</sup> Ричард Фейнман рассмотрел пример интерференции электрона на двух щелях при наблюдении этого процесса с помощью эффекта Комптона, т.е. путем рассеяния фотонов на электроны. В этом случае электрон всегда наблюдается в форме объекта с размером порядка длины волны света, и как выяснилось, его свойства самым существенным образом зависят от его наблюдаемого, а значит и фактического размера. Мы не будем детально приводить известную аргументацию Р. Фейнмана, но коснемся лишь моментов, играющих ключевую роль в квантовом (системном) обобщении понятия "информация".

Когда длина волны фотонов меньше расстояния между щелями, то видно, что электрон проходит через одну из щелей. В этом случае на экране за каждой щелью наблюдается классическое распределение плотности. Суммарная плотность  $N_{12}$  является просто суммой распределений  $N_1$  и  $N_2$ , полученных соответственно от щелей 1 и 2 – рис. 1. Следовательно, имеем в этом случае:

$$N_{12}(x) = N_1(x) + N_2(x) \quad (3.1)$$

Когда длина волны фотонов порядка расстояния между щелями или больше, то видно, как он проходит через экран "накрывая" обе щели одновременно. В этом случае за ними наблюдается сложная интерференционная картина, несколько не напоминающая сумму или суперпозицию классических распределений за 1-й и 2-й щелями, т.е. не являющуюся их суммой – рис. 2.



Рисунок 3.33 - Классический объект, интерференция нет

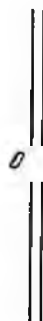
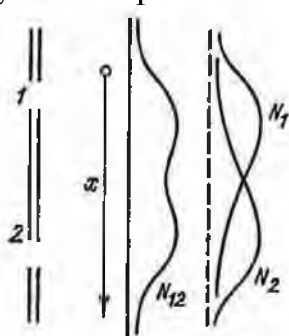
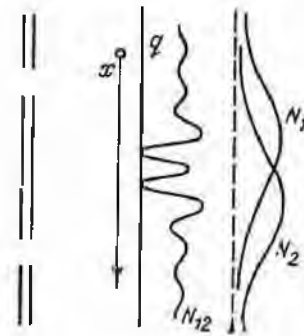


Рисунок 3.34 - Квантовый объект, интерференция есть



<sup>61</sup> Фейнман Р. Характер физических процессов. - М.: Мир, 1968. - 232с.



Введем следующие обозначения:

$\psi_1(x)$  – волновая функция или амплитуда вероятности, квадрат модуля которой характеризует вероятность попадания электрона в точку  $x$  экрана через отверстие 1;

$\psi_2(x)$  – волновая функция, квадрат модуля которой характеризует вероятность попадания электрона в точку  $x$  экрана через отверстие 2;

$\psi_{12}(x)$  – суммарная амплитуда вероятности, квадрат модуля которой характеризует вероятность попадания электрона в точку  $x$  экрана через отверстия 1 и 2 одновременно.

Согласно законам квантовой механики, складываются волновые функции, а не вероятности, как в классическом случае, поэтому имеем:

$$\begin{aligned} \psi_{12}(x) &= \psi_1(x) + \psi_2(x); \\ N_{12}(x) &= |\psi_{12}(x)|^2; \quad N_1(x) = |\psi_1(x)|^2; \quad N_2(x) = |\psi_2(x)|^2 \end{aligned} \quad (3.2)$$

Отсюда находим, что

$$\begin{aligned} |\psi_{12}(x)| &= |\psi_1(x) + \psi_2(x)|^2 = |a_1(x)e^{i\phi_1} + a_2(x)e^{i\phi_2}|^2 \\ N_{12} &= N_1(x) + N_2(x) + 2 \cdot \sqrt{N_1(x) \cdot N_2(x)} \cos(\phi_1 - \phi_2) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Здесь  $a_j(x), \phi_j$  – амплитуда и фаза волновой функции соответственно. Сравнивая выражения (1) и (3) видим, что квантовый эффект прохождения электрона через две щели одновременно приводит к появлению дополнительного слагаемого, описывающего интерференцию – рис. 2.

Это дополнительное слагаемое учитывает системный эффект состоящий в том, что состояния объекта, в классической теории считавшиеся альтернативными, т.е. одновременно не реализуемыми ни при каких условиях, в квантовой теории таковыми не являются и могут осуществляться одновременно, что приводит к возможности нахождения объекта в смешанных состояниях.

Если вероятность прохождения электрона через каждую из  $W$  щелей одинакова, то по классической теории Хартли в самом факте пролета электрона через одну из щелей содержится количество информации:

$$I = \text{Log}_2 W \quad (3.4)$$

где  $W$  – количество щелей, или, в общем случае, классических состояний объекта.

В соответствии с концепцией эмерджентной теории информации, предлагается ввести в это выражение параметр, учитывающий квантовые системные эффекты нахождения объекта в смешанных состояниях. В результате количество состояний объекта возрастает и, следовательно, так же возрастает и количество информации, которое мы получаем, когда узнаем, что он перешел в одно из этих состояний:

$$I = \text{Log}_2 W^\varphi \quad (3.5)$$

где  $\phi$  – степень эмерджентности системы (синоним: уровень системности объекта), в частности:

$$\begin{cases} \phi < 1 - \text{деструктивная система,} \\ \phi = 1 - \text{классическая система,} \\ \phi > 1 - \text{синтетическая система.} \end{cases}$$

Для деструктивных систем свойства целого меньше свойств частей, для классических систем они совпадают, для синтетических систем свойства целого больше свойств частей и не сводятся к ним.

На первый взгляд можно было бы просто увеличить количество состояний системы  $W$  за счет учета смешанных состояний. Однако этот путь не удовлетворяет известному принципу соответствия, который в данном контексте требует, чтобы в предельном случае более общая теория переходила в уже известную, классическую теорию.

Здесь уместно привести теорему, впервые доказанную известным кибернетиком У. Эшби: у системы тем больше возможностей в выборе поведения, чем сильнее степень согласованности поведения ее частей.

Теорема Эшби описывает систему в точке бифуркации, причем, по сути, он при этом использует понятие "степень эмерджентности объекта", хотя в явном виде и не вводит его. Более того, он указывает на источник эмерджентности: – взаимодействие частей и связывает уровень системности или уровень системной организации со степенью взаимодействия этих частей.

В теории информации есть теорема, доказывающая, что энтропия системы в целом меньше суммы энтропии ее частей на величину взаимной информации частей друг о друге. Таким образом, можно утверждать, что способность системы к выбору прямо пропорциональна степени ее эмерджентности и самым непосредственным образом связана с ее способностью, противостоять действию закона возрастания энтропии.

Таким образом, и теоретико-информационное рассмотрение сложных активных самоорганизующихся систем, каким является человек и системы с участием человека, и рассмотрение квантовых систем, приводит к необходимости разработки эмерджентной теории информации, в которой используется обобщенное понятие информации, учитывающее эффект системности с помощью коэффициента эмерджентности.

Рассмотрим численный пример вычисления коэффициента эмерджентности для простого случая, когда все рассматриваемые места работы равновероятны. Пусть количество мест, куда может пойти работать выпускник после получения 1-й специальности будет равно:  $W_1=6$ , после получения 2-й специальности:  $W_2=10$ , а при *одновременном* получении обеих специальностей дополнительно появляется еще  $\square W=16$  мест работы, откуда:

$$W_3 = W_1 + W_2 + \square W = 32$$

Тогда в 1-м случае, если мы узнаем, что выпускник устроился на определенное место работы, то мы получаем

$$I_1 = \text{Log}_2 W_1 \square 2,58 \text{ бит}$$

информации, во 2-м случае, соответственно:

$$I_2 = \log_2 W_2 \approx 3,32 \text{ бита}$$

Но в 3-м случае мы получаем не

$$I_3 = \log_2 (W_1 + W_2) = 4 \text{ бита,}$$

как можно было бы ожидать, если бы не было интерференции последствий, т.е. системного эффекта, а на 1 бит больше:

$$I_3 = \log_2 W_3 = 5 \text{ бит.}$$

Таким образом, при наблюдении за поведением объектов, при рассмотрении их как элементов некоторой системы, мы получаем больше информации, чем при рассмотрении их как автономных объектов, т.е. вне системы. Это можно объяснить тем, что дополнительная информация – это и есть информация о системе, о том, как она влияет на поведение своего элемента.

Указанные 16 дополнительных состояний (мест работы) выпускника в 3-м случае образовались за счет системного эффекта (эмерджентности) и являются "смешанными", образующимися за счет одновременного наличия у выпускника свойств, полученных при окончании и 1-й, и 2-й специальности, поэтому, учитывая выражения (4) и (5), получаем:

$$I_3 = \log_2 W_3 = \log_2 (W_1 + W_2) \square$$

Откуда:

$$\varphi = \frac{\log_2 (W_1 + W_2 + \Delta W)}{\log_2 (W_1 + W_2)} = \frac{5}{4} = 1,25$$

Следовательно, одновременное окончание двух специальностей в рассмотренном случае дает системный эффект 1,25.

Таким образом, предлагаемый концептуальный подход к построению эмерджентной теории информации позволяет количественно учитывать системный эффект или эмерджентность непосредственно на уровне самого понятия "информация", что имеет большое значение для науки и практики применения теории информации и системного анализа для управления активными объектами.

Рассмотрим, что изложенный информационный подход может дать для оценки уровня системности квантовых объектов.

В 2002 году одним из авторов [97] была предложена идея, состоящая в том, что *количество информации в системе больше количества информации во множестве образующих ее базовых элементов, т.к. подсистемы, состоящие из нескольких элементов, содержат информацию также как и базовые элементы* [97]. Понятно, что базовые элементы также являются подсистемами, т.к. кроме систем в мире вообще ничего не существует, а подсистемы некоторого иерархического уровня системы, например, состоящие из  $m$  базовых элементов, могут рассматриваться как базовые элементы этого иерархического уровня [170, 196].

Если базовое множество содержит  $W$  элементов, то по формуле Хартли (3.4) количество информации, которое мы получаем, когда выбираем некоторый элемент, равно:

$$I = \log_2 W$$

Если базовые элементы могут взаимодействовать друг с другом, то они могут образовывать подсистемы.

Здесь и возникают принципиальные вопросы о том:

– какие элементы могут образовывать подсистемы, а какие не могут;

– сколько подсистем различной сложности может быть образовано из  $W$  базовых элементов?

Ответы на эти вопросы зависят от того, какой квантовой статистике подчиняется образующаяся система.

Рассмотрим квантовую систему, состоящую из ряда подсистем, которые пронумеруем целым числом  $j = 1, 2, 3, \dots$ . Каждая подсистема характеризуется числом состояний  $G_j$  и числом частиц  $N_j$ , которые находятся в этих состояниях и обладают энергией  $\epsilon_j$ . Определим число возможных способов распределения  $N_j$  частиц по  $G_j$  состояниям. В случае статистики Ферми в каждом состоянии может находиться не более чем одна частица, поэтому число способов равно<sup>62</sup>

$$\Delta\Gamma_j = \frac{G_j!}{N_j!(G_j - N_j)!} \quad (3.6)$$

В случае статистики Бозе в каждом состоянии может находиться любое число частиц, следовательно, число способов равно<sup>63</sup>

$$\Delta\Gamma_j = \frac{(G_j + N_j - 1)!}{N_j!(G_j - 1)!} \quad (3.7)$$

Энтропия, общее число частиц и энергия системы равны по определению

$$S = \sum_j \ln \Delta\Gamma_j, \quad N = \sum_j N_j, \quad E = \sum_j \epsilon_j N_j \quad (3.8)$$

Найдем числа  $n_j = N_j / G_j$ , которые соответствуют экстремуму энтропии при условии постоянства общего числа частиц и энергии системы. Если число состояний и число частиц в каждой подсистеме достаточно велико,  $N_j, G_j \gg 1$ , то можно воспользоваться приближенной формулой для логарифма факториала  $\ln N_j! \approx N_j \ln(N_j / e)$ . В этом случае выражение энтропии квантовых систем упрощается и принимает вид:

$$S_F = - \sum_j G_j [n_j \ln n_j - (1 - n_j) \ln(1 - n_j)],$$

$$S_B = \sum_j G_j [(1 + n_j) \ln(1 + n_j) - n_j \ln n_j] \quad (3.9)$$

<sup>62</sup> L.D. Landau, E.M. Lifshitz. Statistical Physics. Vol. 5 (3rd ed.). Butterworth-Heinemann. 1980. Feynman, Richard P. Statistical Mechanics: A Set of Lectures. Reading, Mass: W. A. Benjamin, 1972.

<sup>63</sup> Там же

Здесь первое выражение соответствует энтропии системы фермионов, а второе – системы бозонов.

Используя метод Лагранжа, составим функционал  $S_k + \alpha N + \beta E$ , где  $\alpha, \beta$  - некоторые постоянные. Экстремум энтропии достигается при условии

$$\frac{\partial}{\partial n_j} (S_k + \alpha N + \beta E) = 0$$

Отсюда находим два типа распределения

$$n_j = \frac{1}{\exp(\alpha + \beta \varepsilon_j) \pm 1} \quad (3.10)$$

Отметим, что знак плюс соответствует распределению Ферми, а знак минус – распределению Бозе.

Следовательно, в случае статистики Ферми на образование подсистем накладывается ограничение на число частиц, которые могут находиться в одном состоянии. С учетом этого ограничения все элементы базового множества могут образовывать подсистемы в любых сочетаниях, а их общее число определяется выражением (8), которое запишем в виде

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} \quad (3.11)$$

Здесь  $n$  – число состояний системы;  $m$  – число частиц находящихся в этих состояниях.

Ясно, что при фиксированном числе состояний в системе могут быть подсистемы из 1, 2, 3, ...,  $W$  элементов. При этом подсистемы из 1-го элемента это сами базовые элементы, а подсистема из  $W$  элементов – это вся система в целом (булеан) [7-8].

На всех иерархических уровнях системы от 1-го до  $W$ , суммарно будет содержаться общее число подсистем:

$$N_{FD} = \sum_{m=1}^W C_n^m = \sum_{m=1}^W \frac{n!}{m!(n-m)!} \quad (3.12)$$

В работе [97] предложено считать, что количество информации в системе можно рассчитывать по формуле Хартли (7), полагая, что элементами системы являются не только ее базовые элементы, но и состоящие из них подсистемы, количество которых в системе определяется выражением (3.13). Таким образом, количество информации в системе будет:

$$I_{FD} = \text{Log}_2 N_{FD} = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^W C_n^m = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^W \frac{n!}{m!(n-m)!} \quad (3.13)$$

Или окончательно:

$$I_{FD} = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^W C_n^m \quad (3.14)$$

Выражение (3.13) представляет собой системное обобщение формулы Хартли для количества информации в квантовой системе, подчиняющейся статистике Ферми-Дирака с заданным числом состояний и с переменным числом частиц.

В работе [97] предложено оценивать уровень системности или сложности системы отношением количества информации в системе (с учетом входящих в нее подсистем всех уровней иерархии) к количеству информации во множестве образующих ее базовых элементов:

$$H_{FD}(n, W) = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^W C_n^m}{\log_2 W} \quad (3.15)$$

Это выражение было названо в работе [97] **коэффициентом эмерджентности Хартли**, в честь этого выдающегося ученого, внесшего большой вклад в становление научной теории информации, а также потому, что в нем использовано классическое выражение Хартли для количества информации (3.4) и его системное обобщение (3.15).

На рисунке 3. представлена зависимость коэффициента эмерджентности Хартли (17), представляющая собой поверхность. Отметим, что в области параметров  $n \leq 137$ , характерной для ядерных и атомных оболочек, коэффициент эмерджентности изменяется немонотонно с ростом  $W$ , что позволяет объяснить поведение энергии связи нуклонов в атомных ядрах<sup>64</sup>.

Непосредственно из вида выражения для коэффициента эмерджентности Хартли (3.15) ясно, что он представляет собой относительное превышение количества информации в квантовой системе, подчиняющейся статистике Ферми-Дирака, при учете системных эффектов (смешанных состояний, иерархической структуры ее подсистем и т.п.) над количеством информации без учета системности.

---

<sup>64</sup> Трунев А.П. Ядерные оболочки и периодический закон Д.И.Менделеева. Часть 2. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №07(81). С. 491 – 514. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/07/pdf/37.pdf>

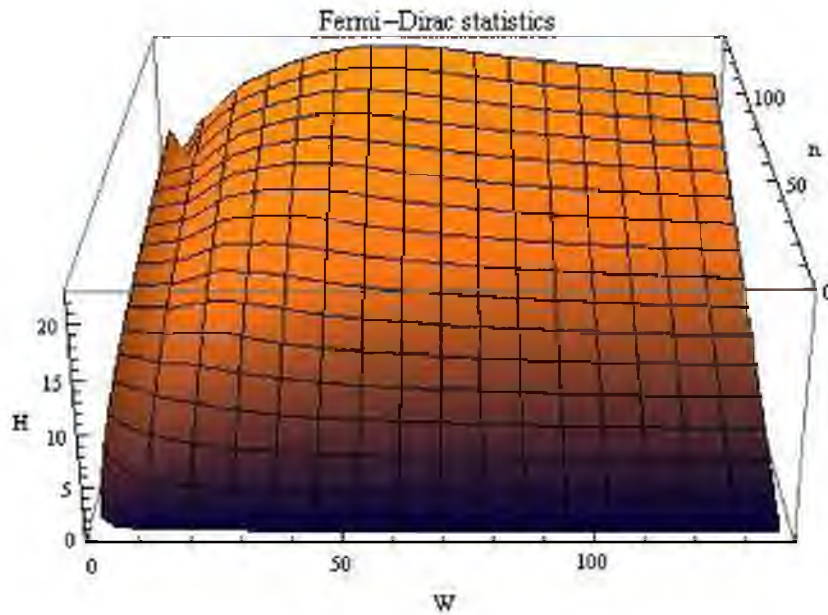


Рисунок 3.35 - Поведение коэффициента эмерджентности Хартли в случае статистики Ферми-Дирака.

В работе [97] показано, что при  $n=W$  выражение (3.16) приобретает вид:

$$N_{FD} = \sum_{m=1}^W C_W^m = 2^W - 1 \quad (3.16)$$

Выражение (3.17) для количества информации в системе с учетом (3.16):

$$I_{FD} = \text{Log}_2(2^W - 1) \quad (3.17)$$

Выражение (19) дает *оценку максимального количества информации*, которое может содержаться в системе **при условии** вхождения всех элементов во все подсистемы различных уровней иерархической структуры, что на практике никогда не осуществляется (возможно, за исключением мира в целом).

Из выражения (3.19) видно, что  $I$  достаточно быстро стремится к  $W$ , поскольку

$$\lim_{W \rightarrow \infty} I/W = 1 \quad (3.18)$$

При  $W > 4$  различие  $I$  и  $W$  в выражении (20) не превышает 1%. Таким образом, коэффициент эмерджентности Хартли (3.17) отражает уровень системности объекта, подчиняющегося статистике Ферми-Дирака. Этот коэффициент изменяется от 1 (системность минимальна, т.е. отсутствует) до  $W/\text{Log}_2 W$  (системность максимальна).

Для каждого количества элементов системы существует свой максимальный уровень системности, который никогда реально не достигается из-за действия **правил запрета** на реализацию в системе ряда

подсистем различных уровней иерархии. Например, не все сочетания букв русского алфавита образуют слова русского языка, и не все сочетания слов – предложения. В каждом состоянии может находиться только одна частица и т.п. По этой причине систему правил запрета в [97] предложено назвать информационным проектом системы. Различные системы, состоящие из равного количества одинаковых элементов, отличаются друг от друга именно по причине различия своих информационных проектов.

Одним из наиболее важных и известных в физике правил запрета, который действует на квантовые системы, подчиняющиеся статистике Ферми-Дирака, является принцип Паули. Это один из основополагающих принципов, влияющий на строение химических элементов, классифицированных в таблице Д. И. Менделеева<sup>65</sup> [201].

Таким образом, в работе [97] по сути, предложено системное обобщение формулы Хартли и коэффициент эмерджентности Хартли для случая квантовых систем, подчиняющихся статистике Ферми-Дирака. Однако статистике Ферми-Дирака подчиняются только квантовые системы с полуцелым спином, тогда как квантовые системы с целым спином описываются статистикой Бозе-Эйнштейна.

Для этой статистики число различных подсистем рассчитывается по формуле (3.19), которую запишем в форме

$$C_{r+k-1}^r = \frac{(r+k-1)!}{r!(k-1)!} \quad (3.19)$$

Здесь  $k$  – число состояний,  $r$  – число частиц в системе. На всех иерархических уровнях квантовой системы, подчиняющейся статистике Бозе-Эйнштейна, от 1-го до  $W$ , суммарно будет содержаться общее число подсистем

$$N_{BE} = \sum_{r=1}^W C_{r+k-1}^r = \sum_{r=1}^W \frac{(r+k-1)!}{r!(k-1)!} \quad (3.20)$$

Предположим, что количество информации в квантовой системе, подчиняющейся статистике Бозе-Эйнштейна, можно рассчитывать по формуле Хартли (7), полагая, что элементами системы являются не только ее базовые элементы, но и состоящие из них подсистемы, количество которых в

<sup>65</sup> Вяткин В.Б. Орбитальная система распределения электронов в атоме и структура периодической системы элементов / В.Б. Вяткин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №05(089). С. 1453 – 1485. – IDA [article ID]: 0891305100. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/100.pdf>, 2,062 у.п.л.

Трунев А.П. Ядерные оболочки и периодический закон Д.И.Менделеева. Часть 2. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №07(81). С. 491 – 514. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/07/pdf/37.pdf>



системе определяется выражением (22). Таким образом, количество информации в такой квантовой системе, подчиняющейся статистике Бозе-Эйнштейна, будет:

$$I_{BE} = \text{Log}_2 N_{BE} = \text{Log}_2 \sum_{r=1}^W C_{r+k-1}^r = \text{Log}_2 \sum_{r=1}^W \frac{(r+k-1)!}{r!(k-1)!} \quad (3.21)$$

Или окончательно:

$$I_{BE} = \text{Log}_2 \sum_{r=1}^W C_{r+k-1}^r \quad (3.22)$$

Выражение (19) представляет собой системное обобщение формулы Хартли для количества информации в квантовой системе, подчиняющейся статистике Бозе-Эйнштейна.

Соответственно, выражение для коэффициента эмерджентности Хартли для случая квантовых систем, подчиняющихся статистике Бозе-Эйнштейна, будет иметь вид:

$$H_{BE}(k, W) = \frac{\text{Log}_2 \sum_{r=1}^W C_{r+k-1}^r}{\text{Log}_2 W} \quad (3.23)$$

На рисунке 3.36 представлена зависимость коэффициента эмерджентности Хартли (3.23) в области параметров  $k, W \leq 150$ .

Можно отметить существенное различие в поведении функции (3.20) и аналогичного коэффициента вычисленного для случая статистики Ферми-Дирака – см. рисунок 3.36.

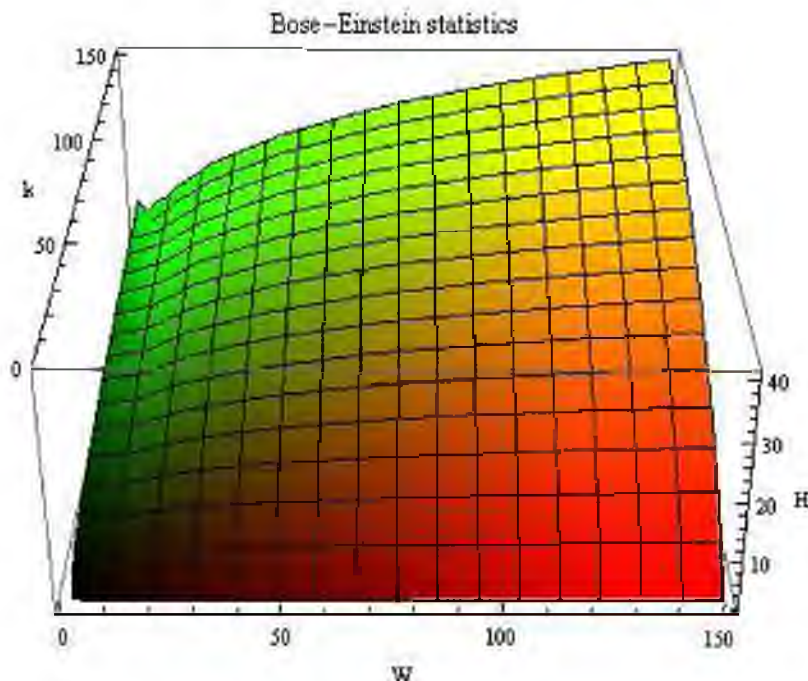


Рисунок 3.36 - Поведение коэффициента эмерджентности Хартли в случае статистики Бозе-Эйнштейна

Отметим, что обе квантовые статистики – и Ферми-Дирака, и Бозе-Эйнштейна, асимптотически приближаются к статистике Максвелла-Больцмана в пределе высоких температур и низких плотностей, что непосредственно следует из выражения (3.12).

В случае статистики Максвелла-Больцмана число подсистем, которое можно образовать при заданном значении числа состояний определяется согласно<sup>66</sup> [5]

$$\Delta\Gamma_j = \frac{G_j^{N_j}}{N_j!} \quad (3.24)$$

Отсюда находим коэффициент эмерджентности классических систем в виде

$$H_{MB}(G, W) = \frac{\text{Log}_2 \sum_{N=1}^W G^N / N!}{\text{Log}_2 W} \quad (3.25)$$

Здесь  $N$  – число частиц,  $G$  – число состояний. На рис. 5 представлена зависимость (3.25) в области параметров  $G, W \leq 150$ .

По характеру поведения коэффициент эмерджентности классических систем при малом числе состояний и частиц занимает промежуточное положение между аналогичными коэффициентами, вычисленными для ферми- и бозе-систем – см. рисунки 3.36-3.37.

---

<sup>66</sup> L.D. Landau, E.M. Lifshitz. Statistical Physics. Vol. 5 (3rd ed.). Butterworth-Heinemann. 1980.

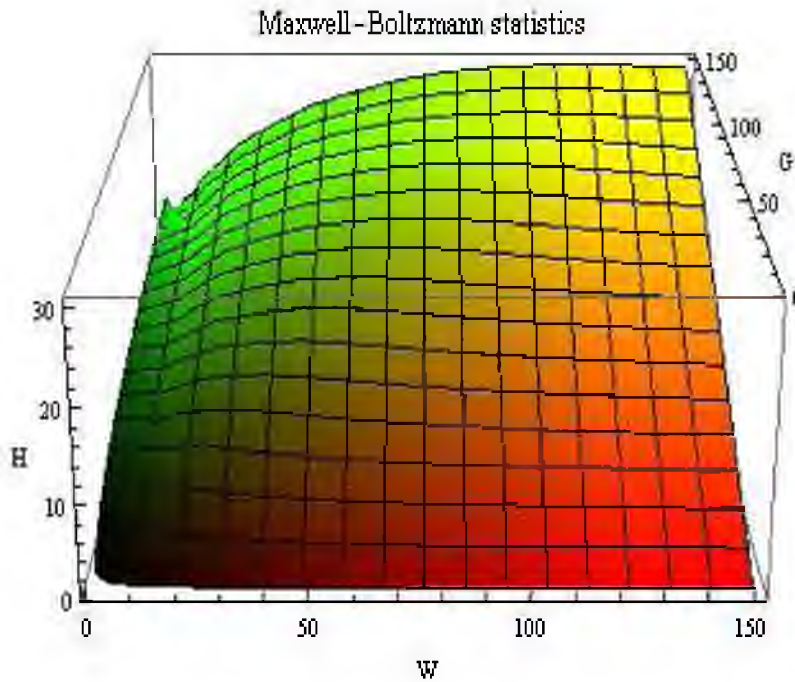


Рисунок 3.37 - Поведение коэффициента эмерджентности Хартли в случае статистики Максвелла-Больцмана

Наконец, рассмотрим поведение коэффициента эмерджентности всех трех систем для больших значений параметров числа состояний и частиц – рисунок 3.38.

Отметим, что максимальное число подсистем для данных, приведенных на рис. 6 составляет:

- статистика Ферми-Дирака -  $3.50746621 \times 10^{451}$ .
- статистика Бозе-Эйнштейна -  $1.79196794 \times 10^{901}$ .
- статистика Максвелла-Больцмана -  $1.4015754 \times 10^{651}$ .

При этом максимальное число состояний и частиц в каждом случае равно 1500.

Общее число подсистем на всех уровнях иерархии, т.е. включающих по  $W=1, 2, 3, \dots, 10$  элементов, для статистики Ферми-Дирака согласно выражения (3.12) для этого случая, т.е. при  $n=1500$  уровней имеет вид:

- {W,  $N_{FD}$ }
- {1, 1500}
- {2, 1125750}
- {3, 562501250}
- {4, 210657282125}
- {5, 63071015719925}
- {6, 15725776993138425}
- {7, 3358594738459315425}
- {8, 627221514672084598050}
- {9, 104049830019224187006550}
- {10, 15524360758047942656113900}

Все результаты, представленные на рис. 3-6, получены с использованием системы Wolfram Mathematica 9.0<sup>67</sup>. В этой системе максимальное число в вычислениях с плавающей точкой равно  $\$MaxMachineNumber = 1.79769 \cdot 10^{308}$ . Максимальное же число, которое может быть представлено на компьютере, использованном в вычислениях приведенных выше данных, составляет  $\$MaxNumber = 2.174188391646043 \cdot 10^{20686623745}$ .

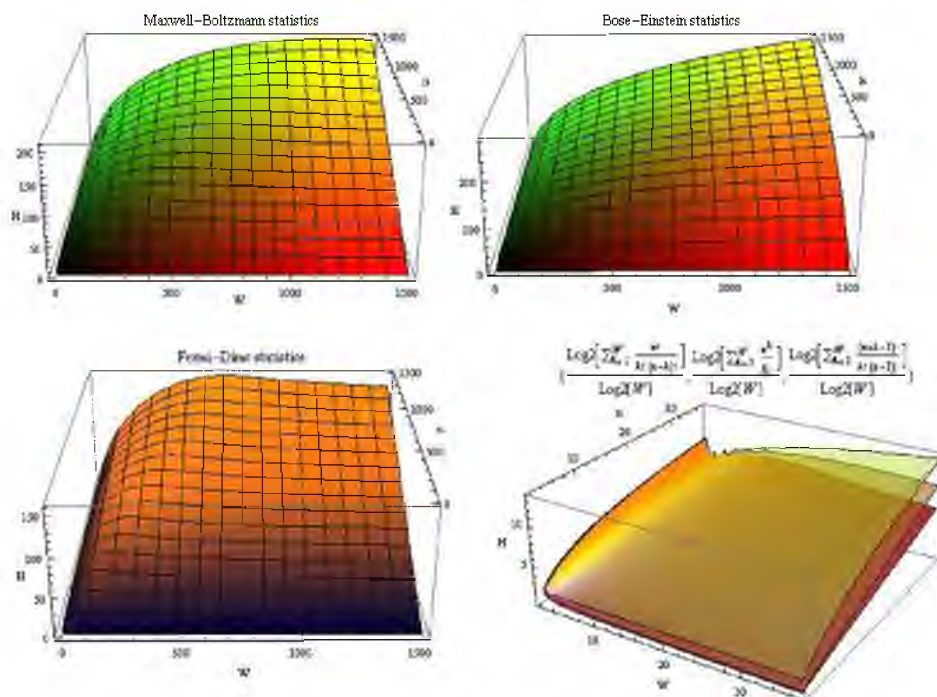


Рисунок 3.38 - Поведение коэффициента эмерджентности Хартли в случае классической и квантовой статистики. На правом нижнем рисунке поверхности коэффициента эмерджентности изображены для малого числа частиц и состояний

Из приведенных на рисунках 3.38 данных следует, что с ростом числа состояний и числа частиц коэффициенты эмерджентности квантовых и классических систем отличаются между собой, как и коэффициенты квантовых систем ферми-частиц и бозе-частиц. **Следовательно, коэффициент эмерджентности позволяет отличить классическую систему от квантовой системы, а квантовую систему ферми-частиц от квантовой системы бозе-частиц.**

Полученные результаты могут оказаться полезными в молекулярной, атомной и ядерной физике, в физике высоких энергий в исследованиях структуры элементарных частиц, а также в математике, экономике, социологии, биологии и других науках, связанных с исследованием сложных систем [12-23].

Из рисунка 6 видно, что для коэффициента эмерджентности Хартли квантовых объектов, подчиняющихся статистике Ферми-Дирака (фермионов), существует максимум при примерно 650 частицах-элементах, а

<sup>67</sup> Wolfram Mathematica 9.0/ <http://www.wolfram.com/mathematica/>

для бозонов и классических объектов подобного максимума не существует. В работе [196] обосновывается универсальный информационный вариационный принцип, согласно которому объекты выбирают путь изменения и развития [170], который приводит к наиболее быстрому возрастанию количеству содержащейся в них информации и их уровня системности. На основании этих двух положений можно сформулировать *гипотезу*, согласно которой уровень системности системы, которую можно создать из определенного количества частиц, будет выше для системы подчиняется статистике Бозе-Эйнштейна или классической Максвелла-Больцмана, и ниже – если статистике Ферми-Дирака, поэтому *количество и размеры бозонов и классических объектов во вселенной должны превосходить количество и размеры фермионов.*

#### *2.3.3.4 Системное обобщение операций над множествами (на примере операции объединения булеанов) и обобщения локального коэффициента эмерджентности Хартли*

В работе [240] рассматривается реализация математической операции объединения систем, являющаяся обобщением операции объединения множеств в рамках системного обобщения теории множеств. Эта операция сходна с операцией объединения булеанов классической теории множеств. Но в отличие от классической теории множеств в ее системном обобщении предлагается конкретный алгоритм объединения систем и обосновывается количественная мера системного (синергетического, эмерджентного) эффекта, возникающего за счет объединения систем. Для этой меры предложено название: «Обобщенный коэффициент эмерджентности Р. Хартли» из-за сходства его математической формы с локальным коэффициентом эмерджентности Хартли и отражающим степень отличия системы от множества её базовых элементов<sup>68</sup>. Приводится ссылка на авторскую программу, реализующую предложенный алгоритм и обеспечивающую численное моделирование объединения систем при различных ограничениях на сложность систем и при различной мощности порождающего множества, приводятся некоторые результаты численного моделирования.

В работе [241] предлагается общее математическое выражение для количественной оценки системного (синергетического) эффекта, возникающего при объединении булеанов (систем), являющихся обобщением множества в системном обобщении теории множеств и независящее от способа (алгоритма) образования подсистем в системе. Для этой количественной меры предложено название: «Обобщенный коэффициент

---

<sup>68</sup> Предложен автором в работе [97] в 2002 году. Напоминать об этом приходится по причинам, изложенным в статье: Вяткин В.Б. Групповой плагиат: от студента до министра. - Троицкий вариант — Наука - <http://trv-science.ru> - [Электронный ресурс]. Адрес доступа: <http://trv-science.ru/2011/11/08/gruppovoj-plagiat-ot-studenta-do-ministra/> или: <http://trv-science.ru/2011/11/08/gruppovoj-plagiat-ot-studenta-do-ministra/print/>



эмерджентности Р.Хартли» из-за сходства его математической формы с локальным коэффициентом эмерджентности Хартли, отражающим степень отличия системы от множества его базовых элементов. Для локального коэффициента эмерджентности Хартли также предложено обобщение, независимое от способа (алгоритма) образования подсистем в системе. Приводятся численные оценки системного эффекта при объединении двух систем с применением авторской программы, на которую дается ссылка.

В работе [240] в общем виде сформулирована, обоснована и предложена программная идея системного обобщения математики, суть которой состоит в тотальной замене понятия "множество" на более общее понятие "система" и прослеживании всех математических последствий этого во всех разделах математики, основанных на теории множеств или использующих ее результаты. При этом обеспечивается соблюдение принципа соответствия, обязательного для более общей теории, т.к. чем ниже уровень системности, тем в меньшей степени система отличается от множества, а система с нулевым уровнем системности тождественно и есть множество. В работах [189, 191] приводится неформальная постановка и обсуждение задач, возникающих при системном обобщении теории множеств. В работе [97] обосновываются количественные меры уровня системности (эмерджентности, синергетического или системного эффекта<sup>69</sup> [170, 253, 270]). В работе [97] приводится развернутый пример реализации этой программной идеи системного обобщения математики, в качестве которого выступает предложенная автором системная теория информации.

#### ***2.3.3.4.1 Реализация операции объединения систем системном обобщении теории множеств (объединение булеанов)***

Данный раздел основан на работах [240, 241] и посвящен разработке подхода к решению 9-й задачи, сформулированной в [189, 191]: «Разработать операции с системами: объединение (сложение), пересечение (умножение), вычитание. Привести предварительные соображения по реализации операции объединения систем».

В классической теории множеств, которую мы далее сокращенно будем называть «КТМ», операция объединения множеств реализуется следующим образом. «Объединение множеств (т.ж. сумма или соединение)<sup>70</sup> в теории множеств – множество, содержащее в себе все элементы исходных множеств. Объединение двух множеств  $A$  и  $B$  обычно обозначается  $A \cup B$ , но иногда можно встретить запись в виде суммы  $A + B$ ». Графически операция

---

<sup>69</sup> Системный эффект проявляется в отличии свойств системы от свойств ее элементов. Яркими примерами системного эффекта являются отличие свойств химических соединений от свойств химических элементов, из которых они состоят, дефект массы в физике, когда масса физической системы не совпадает с суммой масс ее частей. Системный эффект тем больше, чем сильнее взаимодействие элементов системы.

<sup>70</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Объединение%20множеств>

объединения двух множеств может быть представлена в форме диаграммы Эйлера-Венна, приведенной на рисунке 3.39.

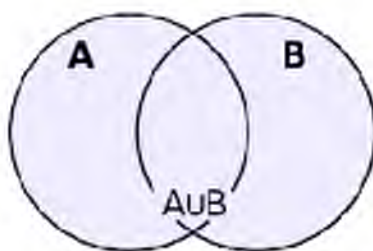


Рисунок 3.39 - Диаграмма Эйлера-Венна объединения двух множеств<sup>71</sup>

При объединении двух множеств с мощностями  $A$  и  $B$  образуется множество, включающее все элементы как 1-го, так и 2-го множеств с мощностью  $N_k$ , которая является просто суммой числа элементов 1-го и 2-го множеств:

$$N_k = A + B \quad (3.25)$$

$$N_k = A \cup B \quad (3.26)$$

В теории множеств выражения (1) и (2) считаются эквивалентными. Однако выражение (3.25) внешне выглядит так же, как арифметическое сложение двух количественных величин, которое совпадает по смыслу с объединением множеств только для непересекающихся множеств. Если же множества пересекаются, т.е. одно множество включают некоторые элементы, которые тождественны элементам другого множества, то при сложении эти элементы повторяются в сумме, а при объединении этих повторений в объединенном множестве нет (рисунок 3.26).

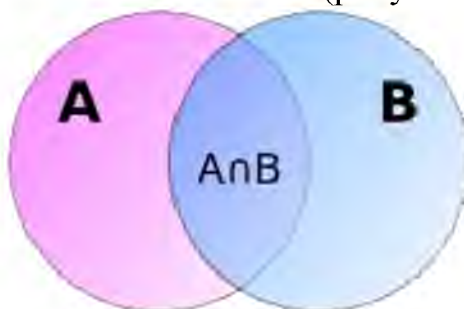


Рисунок 3.26 - Диаграмма Эйлера-Венна пересечения двух множеств<sup>72</sup>

Особенно наглядно различие между арифметическим сложением и объединением видно, когда эти операции выполняются над тождественными множествами (3):

<sup>71</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Диаграммы%20Эйлера-Венна>

<sup>72</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Пересечение%20множеств>



$$A + A = 2A$$

$$A \cup A = A \quad (3.27)$$

Запись операции объединения множеств с использованием операции арифметического сложения их мощностей предполагает вычитание мощности пересечения множеств из арифметической суммы с целью исключения повторения тождественных элементов (4):

$$N_k = A \cup B = A + B - A \cap B \quad (3.28)$$

где:  $N_k$  – мощность объединенного множества.

Для непересекающихся множеств:

$$A \cap B = \emptyset \quad (3.29)$$

и в этом случае выражение (4) с учетом (5) приобретает вид (1) уже не только символически, но и фактически (арифметически).

По мнению автора это означает, что символика выражения (2) точнее или более удачно отражает смысл объединения множеств и его использование предпочтительнее.

В отличие от множеств, системы имеют иерархическое строение. Будем считать, что 1-м уровнем иерархии системы является множество базовых элементов, которое будем называть порождающим множеством.

**В случае объединения двух систем, согласно системной теории множеств (СТМ), на втором и более высоких уровнях иерархии [189, 191] объединенной системы могут возникать новые составные элементы, которых до объединения не было ни в одной из исходных систем и состоящие из элементов обеих систем, что и приводит к системному эффекту  $S$ . В результате мощность объединения систем превосходит мощность объединения их порождающих множеств  $A$  и  $B$  на величину системного эффекта  $S$ , возникающего за счет объединения систем:**

$$N_s = A \cup B + S \quad (3.30)$$

Кроме того, в каждой из систем могут возникать составные элементы из ее *собственных* базовых элементов. Это приводит к системному эффекту, в результате которого система отличается от множества, т.е. содержит больше элементов, чем в порождающем множестве. Этот вид системного эффекта аналитически выражается локальным коэффициентом эмерджентности Хартли (3), который был получен *автором* в 2001 году [97] и назван так в честь этого ученого, внесшего большой вклад с разработку научной теории информации<sup>73</sup>:

---

<sup>73</sup> Приходится об этом напоминать, т.к. в ряде материалов, широко распространенных в научной печати и в Internet, их авторы без ссылки на первичный источник информации о коэффициентах эмерджентности Хартли и Харкевича, т.е. работы автора, используют большие фрагменты из этих работ. Чтобы убедиться в этом достаточно сделать запрос: «[коэффициенты эмерджентности Хартли и Харкевича](#)»

$$\varphi = \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log}_2 W} \quad (3.31)$$

где:

$W$  – количество базовых элементов в системе;

$m$  – сложность составного элемента системы, т.е. подсистемы (количество базовых элементов в составном элементе);

$M$  – максимальная сложность подсистем (максимальное количество базовых элементов в составном элементе).

Фактически максимальная сложность подсистем  $M$  не может быть больше количества базовых элементов в системе  $W$ :  $M \leq W$ , т.к. самым сложным элементом системы может быть элемент, состоящий из всех базовых элементов. Но формально это ограничение можно не соблюдать, т.к. при  $M > W$  согласно выражения (7) будут получаться *нулевые слагаемые* под логарифмом в числителе, отражающие тот факт, что соответствующих составных элементов просто не существует. Поэтому за соблюдением этого условия можно особо не следить и математически объединять выражения, указывая один *максимальный уровень сложности* из всех возможных при различных количествах базовых элементов в разных системах, что пригодится нам в будущем.

Будем считать, что составные элементы в системах не могут образовываться за счет многократного использования одних и тех же базовых элементов в одном составном (повторений):

– это предполагается самим видом математического выражения (7) и понятием комбинаторики «число сочетаний из  $n$  по  $m$ »;

– в противном случае уровень сложности элементов и системы в целом, а также ее мощность, могли бы *неограниченно* возрастать, например, за счет наличия в системе элементов, представляющих собой сколь угодно высокую степень любого из базовых элементов.

Коэффициент эмерджентности Хартли исследован автором в ряде работ, в частности [97, 170]. Непосредственно из вида выражения для коэффициента эмерджентности Хартли (7) ясно, что он представляет собой относительное превышение количества информации в системе при учете системных эффектов (смешанных состояний, иерархической структуры ее подсистем и т.п.) над количеством информации без учета системности (только в базовом уровне или порождающем множестве), т.е. *этот коэффициент отражает уровень системности объекта*.

Получим аналитические выражения для количества элементов в объединенной системе и величины системного эффекта, образующегося не за счет объединения базовых элементов в отдельно-взятой системе (что отражается локальным коэффициентом эмерджентности Хартли), а за счет объединения систем, а затем проведем и количественные оценки с использованием этих выражений и численного моделирования.

**Аксиома о максимальной мощности системы** системной теории множеств (СТМ) и СТИ [97]: в системе, основанной на множестве из  $W$  неповторяющихся элементов, которые мы будем называть *базовыми*, может содержаться не более  $N_{\max}$  элементов, включающих как все базовые элементы, так и *составные элементы (подсистемы)*, образованные из всех возможных различных сочетаний базовых элементов по 2, 3, ...,  $W$  элементов (без повторений):

$$N_{\max} = \sum_{m=1}^W C_W^m \quad (3.32)$$

Эта аксиома СТМ аналогична аксиоме булеана<sup>74</sup> классической теории множеств, в которой постулируется существование и единственность множества всех подмножеств некоторого множества из  $W$  элементов, т.е. булеана, а также доказывается<sup>75</sup>, что мощность булеана равна  $2^W$ .

В этой связи необходимо сделать два замечания.

**Замечание 1:** мощность системы, базирующейся на  $W$  элементах, всегда на 1 меньше мощности булеана, образованного на тех же элементах:

$$\sum_{m=1}^W C_W^m = 2^W - 1 \quad (3.33)$$

Это связано с тем, что по определению булеан включает как элемент самого себя, а система не включает в качестве элемента саму себя, но включает элемент наивысшего уровня сложности (иерархии), состоящий из всех базовых элементов, т.е. в систему входит элемент: «Система-в-целом».

**Замечание 2:** в самой аксиоме булеана классической теории множеств не содержится *алгоритма* или способа нахождения всех элементов образуемого множества, но такой алгоритм предлагается в рамках СТМ и его *идея* основана на аксиоме о максимальной мощности системы: это алгоритм формирования всех возможных различных (без повторений) *сочетаний* базовых элементов системы. Подобные алгоритмы известны<sup>76</sup> и поэтому здесь не приводятся.

Однако, фактически количество элементов в системе всегда меньше максимального, т.к. действуют определенные *правила запрета* на образование некоторых составных элементов [97]<sup>77</sup>. Среди таких правил запрета могут быть, например, *ограничения на максимальное* (или/и минимальное) количество базовых элементов в составных элементах (т.е. на

<sup>74</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Аксиома%20булеана>

<sup>75</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Булеан>

<sup>76</sup> См., например: Мамонтов Д.В., Волошин С.Б. Алгоритм формирования комбинаций при расчете перестановок, размещений и сочетаний. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.voloshin-sb.ru/Portals/0/Download/Works/combinator.pdf>

<sup>77</sup> Автор просит прощения за большое количество *самоцитирований*, которое обусловлено тем, что практически все работы автора образуют единую систему и основываются друг на друге, в частности посвящены *развитию* предложенного в 2000-2001 годах автоматизированного системно-когнитивного анализа [97], его математической модели – системной теории информации (СТИ), и реализующего их программного инструментария – универсальной когнитивной аналитической системы «Эйдос».

их сложность), а также запрет на *повторное* включение базовых элементов в составные (когда один и тот же базовый элемент не может несколько раз входить в один и тот же составной элемент).

Если система образована на основе  $W$  базовых элементов, то в ней существует  $M$  уровней иерархии, на 1-м из которых находятся сами базовые элементы и этот уровень иерархии системы тождественно является порождающему множеству, на 2-м – составные элементы, образованные различными сочетаниями базовых элементов по 2, на 3-м – по 3, и на последнем – по  $M$ . Если количество уровней иерархии в системе  $M$  (будем называть его рангом системы) равно количеству ее базовых элементов  $W$ , то все базовые элементы входят в единственный элемент наивысшего уровня иерархии. В системе отсутствуют составные элементы, включающие больше базовых элементов, чем ранг системы.

Чтобы учесть в выражении (7) 1-е ограничение (на максимальную сложность составных элементов  $M$ ) и получить выражение для количества элементов в системе ранга  $M$ , модифицируем его следующим образом:

$$N_M = \sum_{m=1}^M C_W^m \quad (3.34)$$

В частности, если есть два множества, в 1-м из которых  $A$  элементов, а во 2-м –  $B$ , то согласно системной теории множеств (СТМ) на базе 1-го множества образуется система с числом элементов  $N_A$ :

$$N_A = \sum_{m=1}^M C_A^m, \quad (3.35)$$

а на базе 2-го – с числом элементов  $N_B$ :

$$N_B = \sum_{m=1}^M C_B^m, \quad (3.35)$$

В случае объединения этих 2-х систем по правилам классической теории множеств (КТМ) (4), т.е. считая систему множеством всех ее элементов: и базовых, и составных, количество элементов в объединенной системе  $N_k$  равно просто сумме числа элементов 1-й и 2-й систем (11) и (12), как в случае множеств:

$$N_k = N_A + N_B - N_A \cap N_B \quad (3.36)$$

где:

$N_A$  – множество всех элементов (базовых и составных) системы  $A$ ;

$N_B$  – множество всех элементов (базовых и составных) системы  $B$ .

Выражение (13) является системным аналогом теоретико-множественного выражения (4), но проще его записать аналогично (2):

$$N_k = N_A \cup N_B \quad (3.37)$$

Подставим в выражение (3.37) переменные  $N_A$  и  $N_B$  из (3.34) и (3.35).

$$N_k = \sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m \quad (3.38)$$

В выражении (15) все элементы систем  $A$  и  $B$  (базовые и составные) по сути, рассматриваются как элементы множеств. Операторы суммирования вычисления количества сочетаний в выражении (15) понимаются не как арифметические операторы, а как символические порождающие операторы теории множеств, которые содержат обобщенное аналитическое описание алгоритма генерации элементов систем на базе порождающих множеств  $A$  и  $B$ .

Однако в системной теории множеств в случае объединения 2-х и более систем возникает системный (синергетический) эффект, состоящий в отклонении от аддитивности (6), т.е. в том, что сумма элементов в объединенной системе (16) *превосходит*<sup>78</sup> сумму элементов в исходных системах (15). Математически это можно выразить, добавив в выражение (15) еще одно слагаемое  $S$ , отражающее системный эффект:

$$N_s = \sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m + S \quad (3.39)$$

Это слагаемое  $S$  равно числу тех *составных* элементов объединенной системы, которые могли возникнуть *только* в результате объединения этих 2-х систем, т.е. которые включают элементы как 1-й, так 2-й систем, и которых до объединения этих систем не было и не могло быть ни в одной из них.

Например, при объединении 2-х систем, содержащих на 1-м уровне иерархии *простые числа*, а на 2-м уровне *составные числа*, являющиеся произведениями различных пар простых сомножителей, образуется объединенная система, 1-й уровень которой является объединением 1-х уровней исходных систем, а 2-й образуется по тому же алгоритму, что и в них (рисунок 3.41):

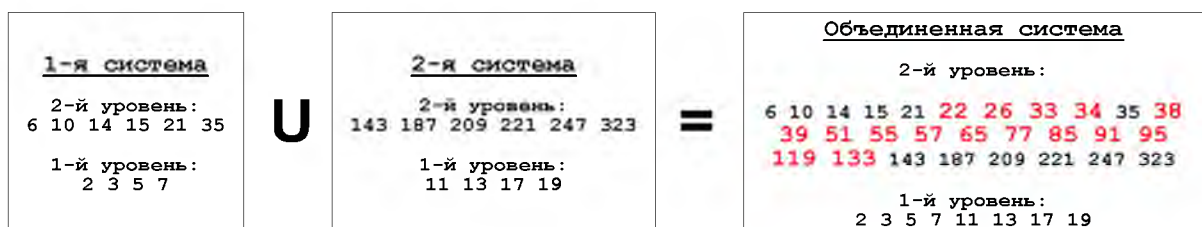


Рисунок 3.41 - Объединение 2-х систем из простых чисел на базовом уровне и сложных чисел, образованных из пар простых, на 2-м уровне<sup>79</sup>

<sup>78</sup> Если же количество элементов в объединенной системе меньше числа элементов в исходных системах, то наблюдается эффект антисистемы [166].

<sup>79</sup> Пример разработан с помощью авторской программы, размещенной по адресу: <http://www.twirpx.com/file/370725/> при параметрах «по умолчанию» и максимальным уровнем сложности

Может возникнуть впечатление, что пример объединения символических числовых систем носит какой-то абстрактный и узкоспециальный характер и не имеет отношения к реальным системам. Но это не так, что ясно уже из того, что элементы базового уровня реальных систем в самых разных предметных областях могут быть *закодированы* с помощью простых чисел, а их составные элементы, образованные из базовых – соответствующими составными числами, образованными этими простыми сомножителями, и между этими числовыми кодами и элементами реальных систем будет установлено взаимно-однозначное соответствие. Таким образом, рассматриваемую в данном примере символическую систему можно рассматривать как универсальную и адекватную модель реальных систем. Так если закодировать элементы таблицы Д.И.Менделеева простыми числами, то различным образованным из них химическим соединениям будут соответствовать сложные числа, образованные *произведениями* соответствующих простых сомножителей. Аналогично, если символам алфавита поставить в соответствие простые числа, то словам будут соответствовать числа, представляющие собой их произведения<sup>80</sup>. Если же взять логарифм от составного числа, то он будет равен *сумме* логарифмов его простых сомножителей (что соответствует переходу к логарифмической шкале и в некоторых случаях удобнее, т.к. размер чисел меньше и *мультипликативность взаимно-однозначно заменяется аддитивностью*).

В таблицах 3.32–3.36 приведены данные о том, какие составные числа произведениями каких простых являются в рассматриваемом примере:

Таблица 3.32 – Состав элементов 1-й системы

Элемент	Уровень иерархии	Простые сомножители	
		1-й	2-й
2	1	2	
3	1	3	
5	1	5	
7	1	7	
6	2	2	3
10	2	2	5
14	2	2	7
15	2	3	5
21	2	3	7
35	2	5	7

Таблица 3.33 – Состав элементов 2-й системы

Элемент	Уровень иерархии	Простые сомножители	
		1-й	2-й
11	1	11	
13	1	13	

<sup>80</sup> Правда, для расчета количества подобных возможных сочетаний необходимо использовать формулы *числа сочетаний с повторениями*:  $\bar{C}_{n+k-1}^k = C_{n+k-1}^k = C_{n+k-1}^{n-1}$ . С использованием этого выражения, приводимые в работе формулы, могут быть обобщены на случай, когда повторения допустимы (формально чаще всего для этого достаточно поставить черточку на символом числа сочетаний). В словах играет роль *порядок* букв, но нет принципиальных проблем для обобщения полученных выражений и на этот случай.

17	1	17	
19	1	19	
143	2	11	13
187	2	11	17
209	2	11	19
221	2	13	17
247	2	13	19
323	2	17	19

Таблица 3.34 – Состав элементов объединенной системы

Элемент	Уровень иерархии	Простые сомножители	
		1-й	2-й
2	1	2	
3	1	3	
5	1	5	
7	1	7	
11	1	11	
13	1	13	
17	1	17	
19	1	19	
6	2	2	3
10	2	2	5
14	2	2	7
22	2	2	11
26	2	2	13
34	2	2	17
38	2	2	19
15	2	3	5
21	2	3	7
33	2	3	11
39	2	3	13
51	2	3	17
57	2	3	19
35	2	5	7
55	2	5	11
65	2	5	13
85	2	5	17
95	2	5	19
77	2	7	11
91	2	7	13
119	2	7	17
133	2	7	19
143	2	11	13
187	2	11	17
209	2	11	19
221	2	13	17
247	2	13	19
323	2	17	19

Таблица 3.35 – Состав элементов подсистемы объединенной системы, содержащие элементы, образованные за счет системного эффекта

Элемент	Уровень иерархии	Простые сомножители	
		1-й	2-й
22	2	2	11
26	2	2	13
34	2	2	17
38	2	2	19



33	2	3	11
39	2	3	13
51	2	3	17
57	2	3	19
55	2	5	11
65	2	5	13
85	2	5	17
95	2	5	19
77	2	7	11
91	2	7	13
119	2	7	17
133	2	7	19

Числа, показанные на рисунке 3 черным цветом на 2-м уровне объединенной системы, есть на 2-м уровне либо 1-й системы, либо 2-й. Если бы системы объединялись как множества, то никаких других элементов на 2-м уровне объединенной системы и не было бы. Но при объединении систем в объединенной системе могут возникать элементы, образованные из сочетаний базовых элементов нескольких исходных систем одновременно, которых не было в исходных системах и которые могли образоваться только в объединенной системе. В нашем примере на рисунке 3 это числа, показанные более крупным шрифтом и красным цветом на 2-м уровне объединенной системы, образованные из различных пар простых чисел, одно из которых принадлежит 1-й системе, а 2-е – второй (см. таблицы 1–4).

Получим аналитическое выражение для этого числа элементов  $S$ . У нас уже есть одно выражение для мощности объединенной системы (16). Чтобы найти  $S$ , необходимо иметь *еще одно* независимое от выражения (16) выражение для  $N_s$ . Это выражение (17) совершенно аналогично выражениями (11) и (12), т.е. число всех элементов  $N_s$  в объединенной системе равно:

$$N_s = \sum_{m=1}^M C_{A+B}^m \quad (3.40)$$

или точнее:

$$N_s = \sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m \quad (3.41)$$

Выражения (17) и (18) эквивалентны и являются системным обобщением соответственно выражений (1) и (2) классической теории множеств в рамках СТМ.

При уменьшении сложности системы  $M$  система все в меньшей степени отличается от множества своих базовых элементов и при  $M=1$  система переходит в это множество (т.к. составных элементов в нем нет) и выражение (16) преобразуется в (4):

$$N_s = A + B - A \cap B \quad (3.42)$$

т.е. преобразуется в выражение (4). Это и означает выполнение **принципа соответствия**<sup>81</sup> между системным обобщением теории множеств (СТМ) и классической теорией множеств (КТМ), когда на основе базовых элементов множеств не создаются составные элементы, т.е. при уровне системности равном 1. Необходимо отметить, что *выполнение принцип соответствия является обязательным для более общей теории, и системное обобщение теории множеств удовлетворяет этому принципу.*

Если найти  $S$  из выражения (16) и подставить в него выражение  $N_S$  из выражения (18), то получим:

$$\sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m = \sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m + S \quad (3.43)$$

откуда:

$$S_{abc} = \sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m - \left( \sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m \right) \quad (3.44)$$

Выражения (19) и (20) представляют собой искомые выражения для *абсолютной величины системного эффекта*, образующегося за счет объединения 2-х систем без повторяющихся элементов с правилом запрета в форме ограничения на максимальную сложность подсистем (составных элементов) или количество уровней иерархии в системе, равным  $M$ .

**Обобщим выражения (19) и (20) на произвольное количество систем.** Пусть дано не 2 системы, а семейство систем:  $\{K_\alpha\}_{\alpha \in A}$ . Как уже отмечалось выше в выражениях (20) и (21) в качестве значения  $M$  можно взять максимальный из уровней сложности всех систем:

$$M = \underset{\forall \alpha \in A}{\text{Max}} \{M_\alpha\} \quad (3.45)$$

где:  $M_\alpha$  – уровень сложности системы  $K_\alpha$ . Тогда для случая многих систем выражения (20) и (21) обобщаются следующим образом:

$$\sum_{m=1}^M C_{Y K_\alpha}^m = Y \sum_{\alpha \in A} \sum_{m=1}^M C_{K_\alpha}^m + S \quad (3.46)$$

В формуле (23) использованы символика и обозначения из статьи<sup>82</sup>. Непосредственно из (23) получаем выражение для величины системного эффекта  $S$ , получаемого при объединении систем семейства  $\{K_\alpha\}_{\alpha \in A}$ :

$$S = \sum_{m=1}^M C_{Y K_\alpha}^m - Y \sum_{\alpha \in A} \sum_{m=1}^M C_{K_\alpha}^m \quad (3.47)$$

<sup>81</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Принцип%20соответствия>

<sup>82</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Объединение%20множеств>

Итак, абсолютная величина системного эффекта, образующегося за счет объединения систем, равна количеству составных элементов (подсистем), которые включают базовые элементы обеих систем и, следовательно, могут образоваться только после этого объединения.

Однако проблема интерпретации и оценки абсолютной величины системного эффекта (20) состоит в том, что по самому этому количеству сложно понять, большое оно, среднее или незначительное, т.к. его не с чем сравнивать, т.е. нет базы сравнения. В качестве естественной базы сравнения предлагается использовать суммарное количество элементов в исходных системах до объединения.

В результате получим выражение для относительной величины системного эффекта, образующегося за счет объединения 2-х систем с правилом запрета в форме ограничения на максимальную сложность подсистем (составных элементов), равным  $M$ :

$$S_{отн} = \frac{\sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m - \left( \sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m \right)}{\left( \sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m \right)} = \frac{\sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m}{\sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m} - 1$$

Или окончательно:

$$S_{отн} = \frac{\sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m}{\sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m} - 1 \quad (3.48)$$

Обратим внимание на то, что, как и в параметре  $ROI^{83}$ , вычитание 1 из отношения является одним из способов нормировки выражения, равного 1 к 0 при отсутствии системного эффекта, что более естественно и лучше приспособлено для его использования в качестве частного критерия в аддитивном интегральном критерии. Другим способом нормировки, дающим тот же результат (с точностью до единиц измерения), является взятие логарифма из этого отношения:

$$S_{отн} = \text{Log}_2 \frac{\sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m}{\sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m} \quad (3.49)$$

<sup>83</sup> См., например: <http://ru.wikipedia.org/wiki/ROI>, <http://shuvalov.wmsite.ru/materialy-stati/analiz-raschetv/roi>

Этот вариант более интересен чем (25) из-за прозрачной аналогии с формулой А.Харкевича для количественной меры семантической целесообразности информации, что позволяет привлечь для исследований в области СТМ богатейший идейный арсенал теории информации, ее применения для управления и управления знаниями.

Обобщение выражения (26) на произвольное количество систем семейства:  $\{K_\alpha\}_{\alpha \in A}$ :

$$S_{\text{отн}} = \text{Log}_2 \frac{\sum_{m=1}^M C_{Y K_\alpha}^m}{Y \sum_{\alpha \in A} \sum_{m=1}^M C_{K_\alpha}^m} \quad (3.50)$$

**Рассмотрим связь системного обобщения теории множеств с теорией информации.**

Понятие информации тесно связано с комбинаторными представлениями. По Р.Хартли<sup>84</sup> количество информации  $I$ , получаемое при идентификации элемента множества мощностью  $W$  при равновероятной встрече различных элементов, равно:

$$I = \text{Log}_2 W \quad (3.51)$$

К.Шенноном на основе статистического подхода выражение Р.Хартли обобщено на случай неравновероятных событий<sup>85</sup>. А.Н.Колмогоров развил комбинаторный и алгоритмический подход к понятию сложности системы и на его основе разработал новое определение понятия информации и также получил формулу К.Шеннона<sup>86</sup>, причем по некоторым данным даже значительно раньше самого К.Шеннона.

С современной точки зрения понятие информации теснейшим образом связано с понятием множества. Поэтому совершенно естественной выглядит мысль исследовать как меняется понятие информации при реализации программной идеи *системного обобщения математики* [186], т.е. в результате замены понятия множества более общим понятием системы. В работе [97] и ряде других [см.: 97-280] исследованы некоторые следствия реализации этой программы в теории информации. Продолжим эту работу с использованием результатов, полученных в данном разделе.

Если формулу (28) применить к системе, основанной на  $W$  базовых элементов с  $M$ уровней иерархии (10), то получим:

$$I = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m \quad (3.52)$$

<sup>84</sup> Хартли Р.В.Л. Передача информации. // Теория информации и ее приложения. М.: Физматгиз, 1959 – с.5-35.

<sup>85</sup> Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд. иностр. лит., 1963 – 830с.

<sup>86</sup> Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. – М.: Наука, 1987 – 304с.

Выражение (29) предложено автором в 2001 году и исследовано в работе [97]. Из применения выражения (29) для расчета количества информации, содержащегося в объединенной системе (18) и в исходных системах, рассматриваемых совместно как множества (15), следует выражение для количества информации, получаемого при идентификации элемента подсистемы, возникшей за счет системного эффекта при объединении двух подсистем:

$$I = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m - \text{Log}_2 \left( \sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m \right) \quad (3.53)$$

Отметим, что из выражения (30) непосредственно вытекает (31)<sup>87</sup>:

$$I = \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m}{\text{Log}_2 \left( \sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m \right)} \quad (3.54)$$

Это и есть окончательное выражение для количества информации, получаемого при идентификации элемента подсистемы, возникшей за счет системного эффекта при объединении двух подсистем.

По своей математической форме выражение (31) очень напоминает коэффициент эмерджентности Хартли (7), отражающий уровень системности локальной системы, т.е. степень ее отличия от множества. Поэтому у нас есть все основания назвать выражение (31) обобщенным коэффициентом эмерджентности Хартли, который показывает степень отличия объединения систем от исходных систем за счет системного эффекта, возникающего за счет этого объединения.

Полученные выражения стандартно обобщаются на случай объединения многих систем. Например, выражение (31) для случая объединения систем семейства  $\{K_\alpha\}_{\alpha \in A}$  принимает вид (32):

$$I = \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_{Y K_\alpha}^m}{\text{Log}_2 Y \sum_{\alpha \in A} \sum_{m=1}^M C_{K_\alpha}^m} \quad (3.55)$$

Все полученные выражения стандартно обобщаются также на непрерывный случай путем замены факториалов при расчете числа сочетаний на гамма-функции [1].

**Рассмотрим примеры объединения систем, в т.ч. численные.**

<sup>87</sup>  $\log_a \frac{b}{c} = \log_a |b| - \log_a |c| \quad \left( \frac{b}{c} > 0 \right)$

Наиболее яркие примеры системного эффекта, возникающего при объединении систем, можно наблюдать в процессе биологической эволюции. Логично предположить, что если системный эффект, возникающий за счет объединения двух систем (31), например, при оплодотворении, настолько велик, что сопоставим с уровнем системности локальной системы (7), аналогичной исходным, то за счет этого системного эффекта могут возникать новые локальные системы, подобные исходным (33):

$$\frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m}{\log_2 \left( \sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m \right)} \approx \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\log_2 W} \quad (3.56)$$

На рисунке 4 приведен простой генетический алгоритм (ГА), являющийся моделью биологической эволюции [196].

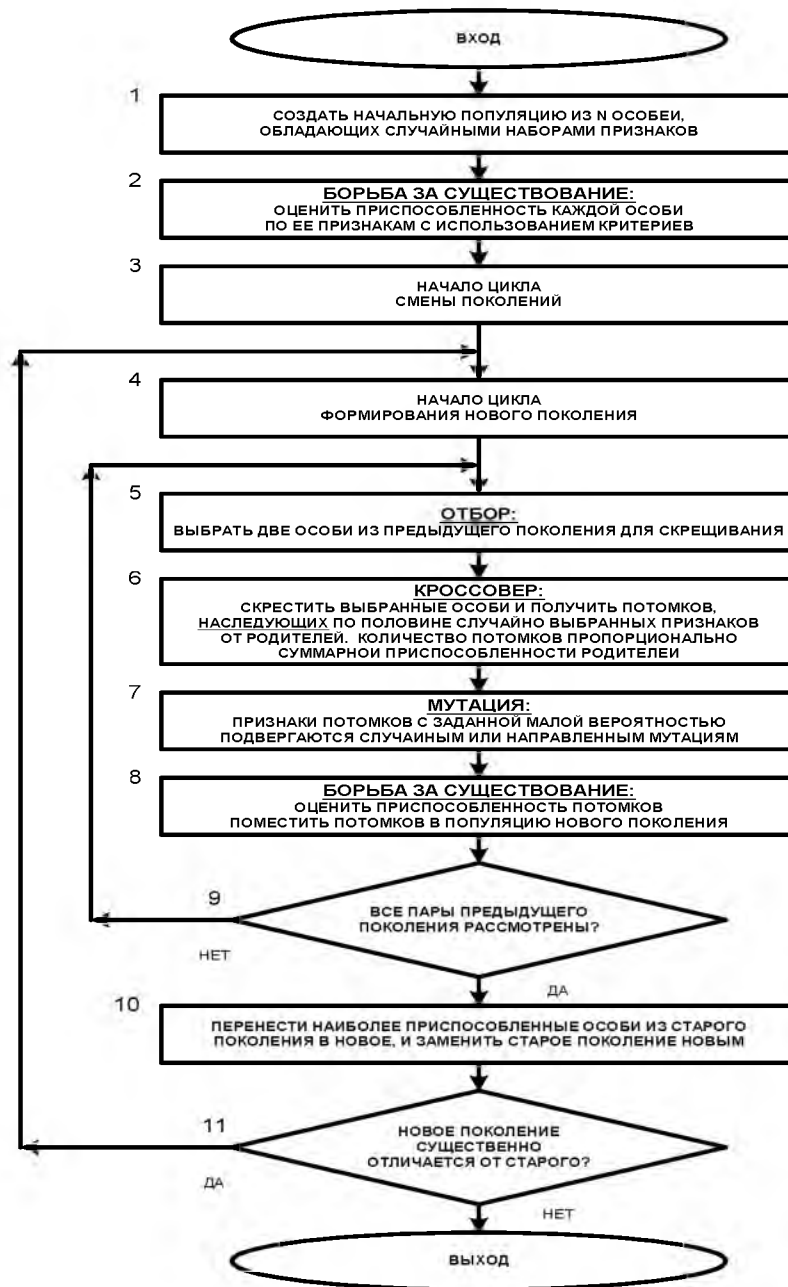


Рисунок 3.42 - Простой генетический алгоритм

Работа ГА представляет собой итерационный процесс, кото-рый продолжается до тех пор, пока поколения не перестанут су-щественно отличаться друг от друга, или не пройдет заданное количество поколений или заданное время. Для каждо-го поколе-ния реализуются отбор, кроссовер (скрещивание), мутация и генерация следую-щего поколения. В этом алгоритме есть этапы, на которых проявляются системные эффекты, связанные с по-явлением следую-щего поколения в результате объединения особей предыду-щего поколения. Рассмотрим этот алгоритм.

**Шаг 1:** генерируется начальная популяция, состоящая из  $N$  особей со случайными наборами признаков.

**Шаг 2** (борьба за существование): вычисляется *абсолютная приспособленность* каждой особи популяции к условиям среды  $f(i)$  и



суммарная приспособленность особей популяции, характеризирующая приспособленность всей популяции. Затем при *пропорциональном отборе* для каждой особи вычисляется ее *относительный вклад* в суммарную приспособленность популяции  $P_s(i)$ , т.е. отношение ее абсолютной приспособленности  $f(i)$  к суммарной приспособленности всех особей популяции (34):

$$P_s(i) = \frac{f(i)}{\sum_{i=1}^N f(i)} \quad (3.57)$$

В выражении (3.57) сразу обращает на себя внимание возможность сравнения абсолютной приспособленности  $i$ -й особи  $f(i)$  не с суммарной приспособленностью всех особей популяции, а со *средней* абсолютной приспособленностью особи популяции (3.58):

$$\bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(i) \quad (3.58)$$

Тогда получим (3.59).

$$P(i) = \frac{f(i)}{\bar{f}} = \frac{f(i)}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(i)} \quad (3.59)$$

Если взять логарифм по основанию 2 от выражения (36), т.е. перейти к логарифмической шкале (что соответствует закону Фехнера<sup>88</sup>), то получим *количество информации, содержащееся в признаках особи о том, что она выживет и даст потомство* (3.60):

$$I(i) = \text{Log}_2 \frac{f(i)}{\bar{f}} \quad (3.60)$$

Необходимо отметить, что эта формула *совпадает* с формулой для семантического количества информации А.Харкевича, если «целью» биологической эволюции считать *индивидуальное выживание и продолжение рода (выживание вида)*. Это значит, что даже чисто формально *приспособленность особи представляет собой количество информации, содержащееся в ее фенотипе о продолжении ее генотипа в последующих поколениях*.

Поскольку количество потомства особи пропорционально ее приспособленности, то естественно считать, что *если это количество информации*:

– *положительно*, то данная особь выживает и дает потомство, численность которого пропорциональна этому количеству информации;

<sup>88</sup> [ru.wikipedia.org/wiki/Закон\\_Фехнера](http://ru.wikipedia.org/wiki/Закон_Фехнера)

– *равно нулю*, то особь доживает до половозрелого возраста, но потомства не дает (его численность равна нулю);

– *меньше нуля*, то особь погибает до достижения полово-зрелого возраста.

Таким образом, можно сделать фундаментальный вывод, имеющий даже мировоззренческое звучание, о том, что *естественный отбор представляет собой процесс генерации, накопления и передачи от прошлых поколений к будущим информации о выживании и продолжении рода в ряде поколений популяции, как системы.*

Это накопление информации происходит на различных уровнях иерархии *популяции, как системы*, включающей:

– *элементы системы*: отдельные особи;

– *взаимосвязи между элементами*: отношения между особями в популяции, обеспечивающие передачу последующим поколениям максимального количества информации об их выживании и продолжении рода (путем скрещивания наиболее приспособленных особей и наследования рациональных приобретений);

– *цель системы*: сохранение и развитие популяции, реализуется через цели особей: индивидуальное выживание и продолжение рода.

Фенотип соответствует генотипу и представляет собой его внешнее проявление в признаках особи в условиях фактической среды. Особь взаимодействует с окружающей средой и другими особями в соответствии со своим фенотипом. В случае, если это взаимодействие удачно, то особь передает генетическую информацию, определяющую фенотип, последующим поколениям.

**Шаг 3:** начало цикла смены поколений.

**Шаг 4:** начало цикла формирования нового поколения.

**Шаг 5 (отбор):** осуществляется *пропорциональный отбор* особей, которые могут участвовать в продолжении рода. Отбираются только те особи популяции, у которых количество информации в фенотипе и генотипе о выживании и продолжении рода положительно, причем вероятность выбора пропорциональна этому количеству информации.

**Шаг 6 (кроссовер):** отобранные для продолжения рода на предыдущем шаге особи с заданной вероятностью  $P_c$  подвергаются *скрещиванию* или *кроссоверу (рекомбинации)*. Если кроссовер происходит, то потомки получают по половине случайным образом определенных признаков от каждого из родителей.

*Численность потомства пропорциональна суммарной приспособленности родителей, т.е. величине системного эффекта, возникающего за счет их объединения в систему (.380).*

$$I = \frac{\log_2 \sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m}{\log_2 \left( \sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m \right)} \quad (3.61)$$

В некоторых вариантах ГА потомки после своего появления заменяют собой родителей и переходят к мутации. Если кросс-овер не происходит, то исходные особи – несостоявшиеся родители, переходят на стадию мутации.

**Шаг 7 (мутация):** выполняются операторы *мутации*. При этом признаки потомков с вероятностью  $P_m$  случайным образом изменяются на другие. Отметим, что использование механизма случайных мутаций роднит генетические алгоритмы с таким широко известным методом имитационного моделирования, как *метод Монте-Карло*.

**Шаг 8 (борьба за существование):** оценивается приспособленность потомков (по тому же алгоритму, что и на шаге 2).

**Шаг 9:** проверяется, все ли отобранные особи дали потомство.

Если нет, то происходит переход на шаг 5 и продолжается формирование нового поколения, иначе – переход на следующий шаг 10.

**Шаг 10:** происходит смена поколений:

- потомки помещаются в новое поколение;
- наиболее приспособленные особи из старого поколения переносятся в новое, причем для каждой из них это возможно не более заданного количества раз;
- полученная новая популяция замещает собой старую.

**Шаг 11:** проверяется выполнение условия останова генетического алгоритма. *Выход* из генетического алгоритма происходит либо тогда, когда новые поколения перестают существенно отличаться от предыдущих, т.е., как говорят, "алгоритм сходится", либо когда пройдено заданное количество поколений или заданное время работы алгоритма (чтобы не было "зацикливания" и динамического зависания в случае, когда решение не может быть найдено в заданное время).

Если ГА сошелся, то это означает, что решение найдено, т.е. получено поколение, идеально приспособленное к условиям данной фиксированной среды обитания.

Иначе – переход на шаг 4 – начало формирования нового поколения.

В реальной биологической эволюции этим дело не ограничивается, т.к. любая популяция кроме освоения некоторой экологической ниши пытается также выйти за ее пределы освоить и другие ниши, как правило "смежные". Именно за счет этих процессов жизнь вышла из моря на сушу, проникла в воздушное пространство и поверхностный слой почвы, а сейчас осваивает космическое пространство.

**Рассмотрим второй пример с объединением систем натуральных чисел, основанных на базовых элементах, являющихся простыми числами.** Для этого автором разработана программа, которая обеспечивает:

1. Задание в диалоге двух диапазонов простых чисел, являющихся базовыми элементами 1-й и 2-й систем, а также задание *диапазона* изменения  $M$  (ограничения на сложность подсистем - составных чисел).

*Для всех  $M$ :*

2. Генерацию простых чисел без повторов в заданных диа-пазонах, являющихся соответственно базовыми элементами 1-й и 2-й системы.

3. Объединение множеств простых чисел, являющихся базовыми элементами 1-й и 2-й систем, и формирование мно-жества базовых элементов объединенной системы (без повторов).

4. Генерацию на основе простых чисел, являющихся базо-выми элементами 1-й и 2-й системы, составных натуральных чисел, являющихся произведениями  $2, 3, \dots, M$  простых чисел и образующих вместе с базовыми простыми числами 1-ю и 2-ю системы.

5. Генерацию на основе простых чисел, являющихся базо-выми элементами объединенной системы, составных натуральных чисел, являющихся произведениями  $2, 3, \dots, M$  простых чисел и образующих вместе с базовыми простыми числами объединенную систему.

6. Поиск в объединенной системе составных чисел, которых нет ни в одной из исходных систем. Эти числа и составляют новую подсистему, образование которой и представляет собой системный эффект, возникающий при этом объединении, нару-шающую аддитивность объединения систем и отличающую операцию объединения систем в системном обобщении теории множеств от объединения множеств в классической теории множеств.

7. Количественный расчет коэффициентов эмерджентности Хартли для 1-й, 2-й и объединенной локальных систем и обоб-щенного коэффициента эмерджентности Хартли, отражающего величину системного эффекта, возникающего при объединении этих двух числовых систем, образованных на простых числах заданных диапазонов. Печать поэлементного состава 1-й, 2-й и объединенной систем, а также подсистемы системного эффекта по уровням иерархии

8. Исследование зависимости системного эффекта от различных параметров объединяемых систем (количества базовых элементов, уровня сложности систем и других).

Экранная форма этой программы приведена на рисунке 2. 5:

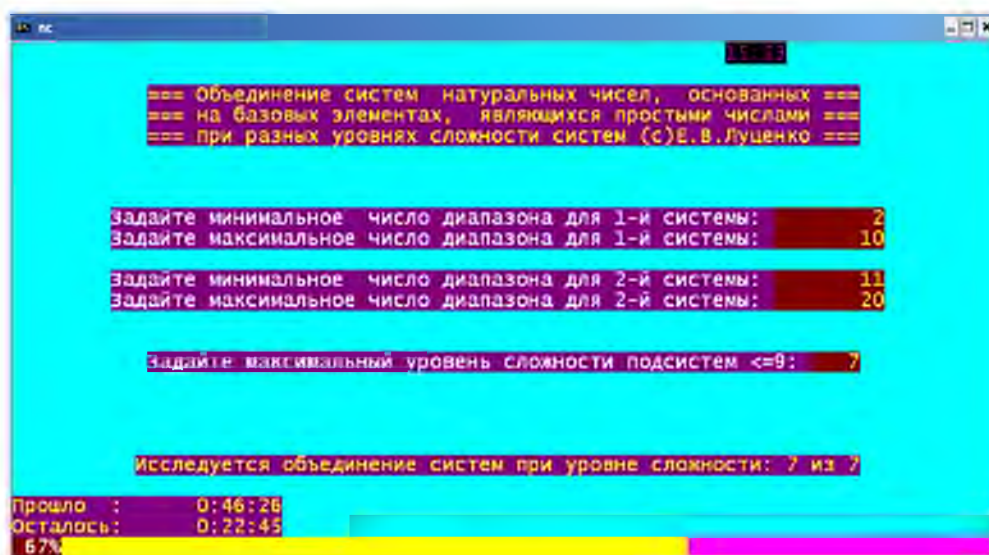


Рисунок 3.43 - Экранная форма программы численного моделирования объединения систем натуральных чисел, основанных на базовых элементах, являющихся простыми числами

Исполнимый модуль, исходный текст (на языке программирования CLIPPER 5.01) и численный пример применения программы, моделирующий объединение 2-х систем с различными уровнями сложности приведены автором по адресу: <http://www.twirpx.com/file/370725/>.

Рассмотрим численные примеры объединения двух систем, смоделированные с помощью приведенной программы при различных параметрах.

При запуске программы с указанными ниже параметрами она формирует выходной файл с именем System.txt (считывается MS Word как DOS Text), приведенный ниже.

Объединение двух систем натуральных чисел, основанных на базовых элементах, являющихся простыми числами, при разных уровнях сложности систем.  
(Системное обобщение теории множеств. Е.В.Луценко)

Диапазон базовых элементов 1-й системы: 2-10  
Диапазон базовых элементов 2-й системы: 11-20  
Диапазон уровней сложности: 1-7

**УРОВЕНЬ СЛОЖНОСТИ=1**

1-Я СИСТЕМА === Sys\_1.dbf =====  
1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4  
2 3 5 7

~~~~~  
Всего элементов=4, из них базовых: 4  
Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.000000  
=====

2-Я СИСТЕМА === Sys\_2.dbf =====  
1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4  
11 13 17 19

~~~~~  
Всего элементов=4, из них базовых: 4  
Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.000000

=====

**ОБЪЕДИНЕННАЯ СИСТЕМА** === Sys\_U.dbf =====

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=8  
2 3 5 7 11 13 17 19

-----

Всего элементов=8, из них базовых: 8  
Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.0000000

=====

**СИСТЕМНЫЙ ЭФФЕКТ** === Sys\_s.dbf =====

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

-----

Всего элементов=0, из них базовых: 0

=====

Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли=1.0000000  
A=4. B=4. AUB=8. AUB-A-B=0

=====

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли отражает  
степень отличия системы от множества базовых элементов

-----

Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли отражает  
величину системного эффекта, возникающего при объеди-  
нении нескольких систем в одну

=====

## УРОВЕНЬ СЛОЖНОСТИ=2

**1-Я СИСТЕМА** === Sys\_1.dbf =====

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=6  
6 10 14 15 21 35

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4  
2 3 5 7

-----

Всего элементов=10, из них базовых: 4  
Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.6609640

=====

**2-Я СИСТЕМА** === Sys\_2.dbf =====

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=6  
143 187 209 221 247 323

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4  
11 13 17 19

-----

Всего элементов=10, из них базовых: 4  
Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.6609640

=====

**ОБЪЕДИНЕННАЯ СИСТЕМА** === Sys\_U.dbf =====

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=28  
6 10 14 15 21 22 26 33 34 35 38 39 51 55 57 65 77 85 91 95 119 133 143 187 209 221 247 323

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=8  
2 3 5 7 11 13 17 19

-----

Всего элементов=36, из них базовых: 8  
Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.7233083

=====

**СИСТЕМНЫЙ ЭФФЕКТ** === Sys\_s.dbf =====

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=16  
22 26 33 34 38 39 51 55 57 65 77 85 91 95 119 133

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

-----

Всего элементов=16, из них базовых: 0

=====

Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли=1.1962080  
A=10. B=10. AUB=36. AUB-A-B=16

=====

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли отражает  
степень отличия системы от множества базовых элементов

Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли отражает величину системного эффекта, возникающего при объединении нескольких систем в одну

УРОВЕНЬ СЛОЖНОСТИ=3

1-Я СИСТЕМА === Sys\_1.dbf =====

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

30 42 70 105

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=6

6 10 14 15 21 35

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

2 3 5 7

Всего элементов=14, из них базовых: 4

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.9036775

2-Я СИСТЕМА === Sys\_2.dbf =====

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

2431 2717 3553 4199

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=6

143 187 209 221 247 323

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

11 13 17 19

Всего элементов=14, из них базовых: 4

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.9036775

ОБЪЕДИНЕННАЯ СИСТЕМА === Sys\_U.dbf =====

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=56

30 42 66 70 78 102 105 110 114 130 154 165 170 182 190 195 231 238 255 266 273 285 286 357 374 385 399 418 429 442 455 494 561 595 627 646 663 665 715 741 935 969 1001 1045 1105 1235 1309 1463 1547 1615 1729 2261 2431 2717 3553 4199

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=28

6 10 14 15 21 22 26 33 34 35 38 39 51 55 57 65 77 85 91 95 119 133 143 187 209 221 247 323

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=8

2 3 5 7 11 13 17 19

Всего элементов=92, из них базовых: 8

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=2.1745207

СИСТЕМНЫЙ ЭФФЕКТ === Sys\_s.dbf =====

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=48

66 78 102 110 114 130 154 165 170 182 190 195 231 238 255 266 273 285 286 357 374 385 399 418 429 442 455 494 561 595 627 646 663 665 715 741 935 969 1001 1045 1105 1235 1309 1463 1547 1615 1729 2261

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=16

22 26 33 34 38 39 51 55 57 65 77 85 91 95 119 133

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

Всего элементов=64, из них базовых: 0

Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли=1.3569961

A=14. B=14. AUB=92. AUB-A-B=64

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли отражает степень отличия системы от множества базовых элементов

Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли отражает величину системного эффекта, возникающего при объединении нескольких систем в одну

УРОВЕНЬ СЛОЖНОСТИ=4

1-Я СИСТЕМА === Sys\_1.dbf =====

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=1



210

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

30 42 70 105

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=6

6 10 14 15 21 35

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

2 3 5 7

~~~~~  
Всего элементов=15, из них базовых: 4

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.9534453  
=====

2-Я СИСТЕМА === Sys\_2.dbf =====

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=1

46189

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

2431 2717 3553 4199

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=6

143 187 209 221 247 323

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

11 13 17 19

~~~~~  
Всего элементов=15, из них базовых: 4

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.9534453  
=====

ОБЪЕДИНЕННАЯ СИСТЕМА === Sys\_U.dbf =====

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=70

210 330 390 462 510 546 570 714 770 798 858 910 1122 1155 1190 1254 1326 1330 1365 1430 1482 1785 1870 1938 1995

2002 2090 2145 2210 2470 2618 2805 2926 3003 3094 3135 3230 3315 3458 3705 3927 4389 4522 4641 4845 4862 5005 5187

5434 6545 6783 7106 7293 7315 7735 8151 8398 8645 10659 11305 12155 12597 13585 17017 17765 19019 20995 24871

29393 46189

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=56

30 42 66 70 78 102 105 110 114 130 154 165 170 182 190 195 231 238 255 266 273 285 286 357 374 385 399 418 429 442 455

494 561 595 627 646 663 665 715 741 935 969 1001 1045 1105 1235 1309 1463 1547 1615 1729 2261 2431 2717 3553 4199

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=28

6 10 14 15 21 22 26 33 34 35 38 39 51 55 57 65 77 85 91 95 119 133 143 187 209 221 247 323

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=8

2 3 5 7 11 13 17 19

~~~~~  
Всего элементов=162, из них базовых: 8

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=2.4466167  
=====

СИСТЕМНЫЙ ЭФФЕКТ === Sys\_s.dbf =====

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=68

330 390 462 510 546 570 714 770 798 858 910 1122 1155 1190 1254 1326 1330 1365 1430 1482 1785 1870 1938 1995 2002

2090 2145 2210 2470 2618 2805 2926 3003 3094 3135 3230 3315 3458 3705 3927 4389 4522 4641 4845 4862 5005 5187 5434

6545 6783 7106 7293 7315 7735 8151 8398 8645 10659 11305 12155 12597 13585 17017 17765 19019 20995 24871 29393

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=48

66 78 102 110 114 130 154 165 170 182 190 195 231 238 255 266 273 285 286 357 374 385 399 418 429 442 455 494 561 595

627 646 663 665 715 741 935 969 1001 1045 1105 1235 1309 1463 1547 1615 1729 2261

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=16

22 26 33 34 38 39 51 55 57 65 77 85 91 95 119 133

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

~~~~~  
Всего элементов=132, из них базовых: 0

=====

Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли=1.4958251

A=15. B=15. AUB=162. AUB-A-B=132  
=====

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли отражает степень отличия системы от множества базовых элементов

~~~~~  
Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли отражает величину системного эффекта, возникающего при объединении нескольких систем в одну

=====

УРОВЕНЬ СЛОЖНОСТИ=5

**1-Я СИСТЕМА** === Sys\_1.dbf =====

5-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=1  
210

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4  
30 42 70 105

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=6  
6 10 14 15 21 35

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4  
2 3 5 7

~~~~~  
Всего элементов=15, из них базовых: 4

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.9534453  
=====

**2-Я СИСТЕМА** === Sys\_2.dbf =====

5-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=1  
46189

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4  
2431 2717 3553 4199

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=6  
143 187 209 221 247 323

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4  
11 13 17 19

~~~~~  
Всего элементов=15, из них базовых: 4

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.9534453  
=====

**ОБЪЕДИНЕННАЯ СИСТЕМА** === Sys\_U.dbf =====

5-й уровень иерархии. Кол-во элементов=56

2310 2730 3570 3990 4290 5610 6006 6270 6630 7410 7854 8778 9282 9690 10010 10374 13090 13566 14586 14630 15015  
15470 16302 17290 19635 21318 21945 22610 23205 24310 25194 25935 27170 33915 34034 35530 36465 38038 40755  
41990 49742 51051 53295 57057 58786 62985 74613 85085 88179 92378 95095 124355 138567 146965 230945 323323

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=70

210 330 390 462 510 546 570 714 770 798 858 910 1122 1155 1190 1254 1326 1330 1365 1430 1482 1785 1870 1938 1995  
2002 2090 2145 2210 2470 2618 2805 2926 3003 3094 3135 3230 3315 3458 3705 3927 4389 4522 4641 4845 4862 5005 5187  
5434 6545 6783 7106 7293 7315 7735 8151 8398 8645 10659 11305 12155 12597 13585 17017 17765 19019 20995 24871  
29393 46189

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=56

30 42 66 70 78 102 105 110 114 130 154 165 170 182 190 195 231 238 255 266 273 285 286 357 374 385 399 418 429 442 455  
494 561 595 627 646 663 665 715 741 935 969 1001 1045 1105 1235 1309 1463 1547 1615 1729 2261 2431 2717 3553 4199

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=28

6 10 14 15 21 22 26 33 34 35 38 39 51 55 57 65 77 85 91 95 119 133 143 187 209 221 247 323

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=8

2 3 5 7 11 13 17 19

~~~~~  
Всего элементов=218, из них базовых: 8

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=2.5893948  
=====

**СИСТЕМНЫЙ ЭФФЕКТ** === Sys\_s.dbf =====

5-й уровень иерархии. Кол-во элементов=56

2310 2730 3570 3990 4290 5610 6006 6270 6630 7410 7854 8778 9282 9690 10010 10374 13090 13566 14586 14630 15015  
15470 16302 17290 19635 21318 21945 22610 23205 24310 25194 25935 27170 33915 34034 35530 36465 38038 40755  
41990 49742 51051 53295 57057 58786 62985 74613 85085 88179 92378 95095 124355 138567 146965 230945 323323

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=68

330 390 462 510 546 570 714 770 798 858 910 1122 1155 1190 1254 1326 1330 1365 1430 1482 1785 1870 1938 1995 2002  
2090 2145 2210 2470 2618 2805 2926 3003 3094 3135 3230 3315 3458 3705 3927 4389 4522 4641 4845 4862 5005 5187 5434  
6545 6783 7106 7293 7315 7735 8151 8398 8645 10659 11305 12155 12597 13585 17017 17765 19019 20995 24871 29393

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=48

66 78 102 110 114 130 154 165 170 182 190 195 231 238 255 266 273 285 286 357 374 385 399 418 429 442 455 494 561 595  
627 646 663 665 715 741 935 969 1001 1045 1105 1235 1309 1463 1547 1615 1729 2261

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=16

22 26 33 34 38 39 51 55 57 65 77 85 91 95 119 133

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

~~~~~  
Всего элементов=188, из них базовых: 0

=====

Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли=1.5831175  
A=15. B=15. AUB=218. AUB-A-B=188

=====

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли отражает  
степень отличия системы от множества базовых элементов

~~~~~

Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли отражает  
величину системного эффекта, возникающего при объеди-  
нении нескольких систем в одну

=====

#### УРОВЕНЬ СЛОЖНОСТИ=6

1-Я СИСТЕМА === Sys\_1.dbf =====

6-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

5-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=1

210

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

30 42 70 105

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=6

6 10 14 15 21 35

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

2 3 5 7

~~~~~

Всего элементов=15, из них базовых: 4

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.9534453

=====

2-Я СИСТЕМА === Sys\_2.dbf =====

6-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

5-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=1

46189

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

2431 2717 3553 4199

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=6

143 187 209 221 247 323

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

11 13 17 19

~~~~~

Всего элементов=15, из них базовых: 4

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.9534453

=====

ОБЪЕДИНЕННАЯ СИСТЕМА === Sys\_U.dbf =====

6-й уровень иерархии. Кол-во элементов=28

30030 39270 43890 46410 51870 67830 72930 81510 102102 106590 114114 125970 149226 170170 176358 190190 248710  
255255 277134 285285 293930 373065 440895 461890 646646 692835 969969 1616615

5-й уровень иерархии. Кол-во элементов=56

2310 2730 3570 3990 4290 5610 6006 6270 6630 7410 7854 8778 9282 9690 10010 10374 13090 13566 14586 14630 15015

15470 16302 17290 19635 21318 21945 22610 23205 24310 25194 25935 27170 33915 34034 35530 36465 38038 40755

41990 49742 51051 53295 57057 58786 62985 74613 85085 88179 92378 95095 124355 138567 146965 230945 323323

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=70

210 330 390 462 510 546 570 714 770 798 858 910 1122 1155 1190 1254 1326 1330 1365 1430 1482 1785 1870 1938 1995

2002 2090 2145 2210 2470 2618 2805 2926 3003 3094 3135 3230 3315 3458 3705 3927 4389 4522 4641 4845 4862 5005 5187

5434 6545 6783 7106 7293 7315 7735 8151 8398 8645 10659 11305 12155 12597 13585 17017 17765 19019 20995 24871

29393 46189

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=56

30 42 66 70 78 102 105 110 114 130 154 165 170 182 190 195 231 238 255 266 273 285 286 357 374 385 399 418 429 442 455

494 561 595 627 646 663 665 715 741 935 969 1001 1045 1105 1235 1309 1463 1547 1615 1729 2261 2431 2717 3553 4199

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=28

6 10 14 15 21 22 26 33 34 35 38 39 51 55 57 65 77 85 91 95 119 133 143 187 209 221 247 323

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=8

2 3 5 7 11 13 17 19

~~~~~

Всего элементов=246, из них базовых: 8

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=2.6475048

=====

**СИСТЕМНЫЙ ЭФФЕКТ** === Sys\_s.dbf =====

6-й уровень иерархии. Кол-во элементов=28

30030 39270 43890 46410 51870 67830 72930 81510 102102 106590 114114 125970 149226 170170 176358 190190 248710  
255255 277134 285285 293930 373065 440895 461890 646646 692835 969969 1616615

5-й уровень иерархии. Кол-во элементов=56

2310 2730 3570 3990 4290 5610 6006 6270 6630 7410 7854 8778 9282 9690 10010 10374 13090 13566 14586 14630 15015  
15470 16302 17290 19635 21318 21945 22610 23205 24310 25194 25935 27170 33915 34034 35530 36465 38038 40755  
41990 49742 51051 53295 57057 58786 62985 74613 85085 88179 92378 95095 124355 138567 146965 230945 323323

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=68

330 390 462 510 546 570 714 770 798 858 910 1122 1155 1190 1254 1326 1330 1365 1430 1482 1785 1870 1938 1995 2002  
2090 2145 2210 2470 2618 2805 2926 3003 3094 3135 3230 3315 3458 3705 3927 4389 4522 4641 4845 4862 5005 5187 5434  
6545 6783 7106 7293 7315 7735 8151 8398 8645 10659 11305 12155 12597 13585 17017 17765 19019 20995 24871 29393

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=48

66 78 102 110 114 130 154 165 170 182 190 195 231 238 255 266 273 285 286 357 374 385 399 418 429 442 455 494 561 595  
627 646 663 665 715 741 935 969 1001 1045 1105 1235 1309 1463 1547 1615 1729 2261

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=16

22 26 33 34 38 39 51 55 57 65 77 85 91 95 119 133

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

~~~~~  
Всего элементов=216, из них базовых: 0

=====

Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли=1.6186451

A=15. B=15. AUB=246. AUB-A-B=216

~~~~~  
Локальный коэффициент эмерджентности Хартли отражает степень отличия системы от множества базовых элементов

~~~~~  
Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли отражает величину системного эффекта, возникающего при объединении нескольких систем в одну

**УРОВЕНЬ СЛОЖНОСТИ=7**

**1-Я СИСТЕМА** === Sys\_1.dbf =====

7-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

6-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

5-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=1

210

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

30 42 70 105

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=6

6 10 14 15 21 35

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

2 3 5 7

~~~~~  
Всего элементов=15, из них базовых: 4

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.9534453

**2-Я СИСТЕМА** === Sys\_2.dbf =====

7-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

6-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

5-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=1

46189

3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

2431 2717 3553 4199

2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=6

143 187 209 221 247 323

1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=4

11 13 17 19

~~~~~  
Всего элементов=15, из них базовых: 4

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=1.9534453

**ОБЪЕДИНЕННАЯ СИСТЕМА** === Sys\_U.dbf =====

7-й уровень иерархии. Кол-во элементов=8  
510510 570570 746130 881790 1385670 1939938 3233230 4849845  
6-й уровень иерархии. Кол-во элементов=28  
30030 39270 43890 46410 51870 67830 72930 81510 102102 106590 114114 125970 149226 170170 176358 190190 248710  
255255 277134 285285 293930 373065 440895 461890 646646 692835 969969 1616615  
5-й уровень иерархии. Кол-во элементов=56  
2310 2730 3570 3990 4290 5610 6006 6270 6630 7410 7854 8778 9282 9690 10010 10374 13090 13566 14586 14630 15015  
15470 16302 17290 19635 21318 21945 22610 23205 24310 25194 25935 27170 33915 34034 35530 36465 38038 40755  
41990 49742 51051 53295 57057 58786 62985 74613 85085 88179 92378 95095 124355 138567 146965 230945 323323  
4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=70  
210 330 390 462 510 546 570 714 770 798 858 910 1122 1155 1190 1254 1326 1330 1365 1430 1482 1785 1870 1938 1995  
2002 2090 2145 2210 2470 2618 2805 2926 3003 3094 3135 3230 3315 3458 3705 3927 4389 4522 4641 4845 4862 5005 5187  
5434 6545 6783 7106 7293 7315 7735 8151 8398 8645 10659 11305 12155 12597 13585 17017 17765 19019 20995 24871  
29393 46189  
3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=56  
30 42 66 70 78 102 105 110 114 130 154 165 170 182 190 195 231 238 255 266 273 285 286 357 374 385 399 418 429 442 455  
494 561 595 627 646 663 665 715 741 935 969 1001 1045 1105 1235 1309 1463 1547 1615 1729 2261 2431 2717 3553 4199  
2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=28  
6 10 14 15 21 22 26 33 34 35 38 39 51 55 57 65 77 85 91 95 119 133 143 187 209 221 247 323  
1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=8  
2 3 5 7 11 13 17 19

~~~~~  
Всего элементов=254, из них базовых: 8  
Локальный коэффициент эмерджентности Хартли=2.6628949  
=====

**СИСТЕМНЫЙ ЭФФЕКТ** === Sys\_s.dbf =====

7-й уровень иерархии. Кол-во элементов=8  
510510 570570 746130 881790 1385670 1939938 3233230 4849845  
6-й уровень иерархии. Кол-во элементов=28  
30030 39270 43890 46410 51870 67830 72930 81510 102102 106590 114114 125970 149226 170170 176358 190190 248710  
255255 277134 285285 293930 373065 440895 461890 646646 692835 969969 1616615  
5-й уровень иерархии. Кол-во элементов=56  
2310 2730 3570 3990 4290 5610 6006 6270 6630 7410 7854 8778 9282 9690 10010 10374 13090 13566 14586 14630 15015  
15470 16302 17290 19635 21318 21945 22610 23205 24310 25194 25935 27170 33915 34034 35530 36465 38038 40755  
41990 49742 51051 53295 57057 58786 62985 74613 85085 88179 92378 95095 124355 138567 146965 230945 323323  
4-й уровень иерархии. Кол-во элементов=68  
330 390 462 510 546 570 714 770 798 858 910 1122 1155 1190 1254 1326 1330 1365 1430 1482 1785 1870 1938 1995 2002  
2090 2145 2210 2470 2618 2805 2926 3003 3094 3135 3230 3315 3458 3705 3927 4389 4522 4641 4845 4862 5005 5187 5434  
6545 6783 7106 7293 7315 7735 8151 8398 8645 10659 11305 12155 12597 13585 17017 17765 19019 20995 24871 29393  
3-й уровень иерархии. Кол-во элементов=48  
66 78 102 110 114 130 154 165 170 182 190 195 231 238 255 266 273 285 286 357 374 385 399 418 429 442 455 494 561 595  
627 646 663 665 715 741 935 969 1001 1045 1105 1235 1309 1463 1547 1615 1729 2261  
2-й уровень иерархии. Кол-во элементов=16  
22 26 33 34 38 39 51 55 57 65 77 85 91 95 119 133  
1-й уровень иерархии. Кол-во элементов=0

~~~~~  
Всего элементов=224, из них базовых: 0  
=====

Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли=1.6280544  
A=15. B=15. AUB=254. AUB-A-B=224  
=====

Локальный коэффициент эмерджентности Хартли отражает степень отличия системы от множества базовых элементов  
~~~~~

Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли отражает величину системного эффекта, возникающего при объединении нескольких систем в одну  
=====

Из приведенного примера видно, что при уровне сложности равном 1, объединение систем ничем не отличается от объединения множеств их базовых элементов, чем и обеспечивается выполнение принципа соответствия. При увеличении уровня сложности наблюдается все больший и больший системный эффект, количественно измеряемый обобщенным коэффициентом эмерджентности Хартли.

При этих же параметрах и уровне сложности 2 сформирован пример, приведенный на рисунке 3 и в таблицах 1–4. Данные таблицы сформированы на основе файлов (которые считываются в MS Excel): Sys#\_1.dbf, Sys#\_2.dbf, Sys#\_U.dbf и Sys#\_eff.dbf, где: # – уровень сложности.

В результате запуска этой программы с последовательно увеличивающимся параметром «уровень сложности» при одних и тех же диапазонах базовых элементов, указанных выше, получим результаты, сведенные в таблице 2.36 и на рисунке 2.44.

Таблица 2.36 – Зависимость локальных и обобщенного коэффициентов эмерджентности Хартли от сложности объединяемых систем

| Уровень сложности | Локальный коэффициент эмерджентности Хартли |             |                      | Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли |
|-------------------|---------------------------------------------|-------------|----------------------|----------------------------------------------|
|                   | 1-й системы                                 | 2-й системы | Объединенной системы |                                              |
| 1                 | 1,0000000                                   | 1,0000000   | 1,0000000            | 1,0000000                                    |
| 2                 | 1,6609640                                   | 1,6609640   | 1,7233083            | 1,1962080                                    |
| 3                 | 1,9036775                                   | 1,9036775   | 2,1745207            | 1,3569961                                    |
| 4                 | 1,9534453                                   | 1,9534453   | 2,4466167            | 1,4958251                                    |
| 5                 | 1,9534453                                   | 1,9534453   | 2,5893948            | 1,5831175                                    |
| 6                 | 1,9534453                                   | 1,9534453   | 2,6475048            | 1,6186451                                    |
| 7                 | 1,9534453                                   | 1,9534453   | 2,6628949            | 1,6280544                                    |

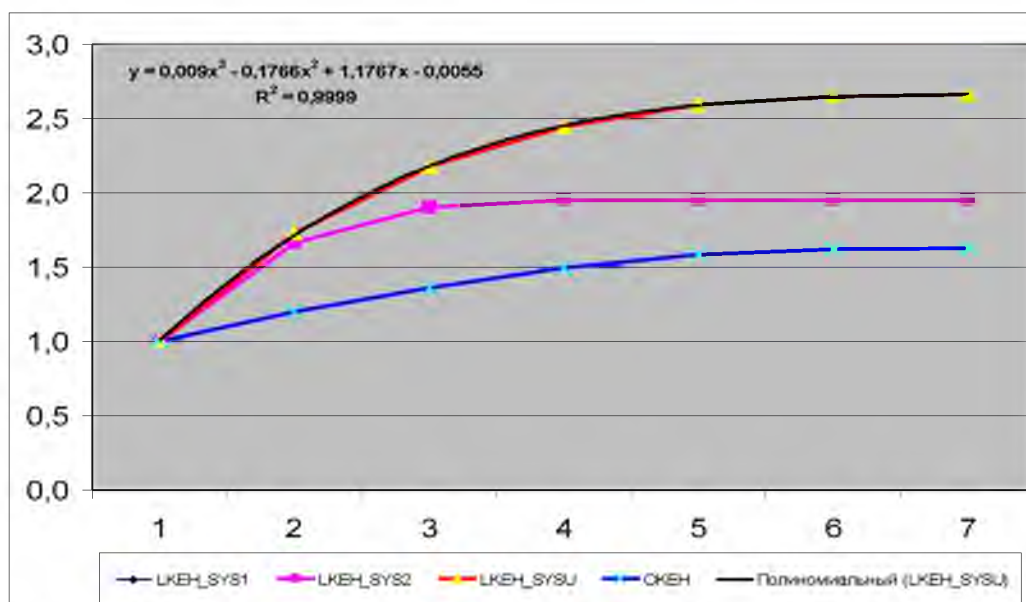


Рисунок 3.44 - Зависимость локальных и обобщенного коэффициентов эмерджентности Хартли от сложности объединяемых систем

На рисунке 6 использованы обозначения:

– LKEN\_SYS1 – локальный коэффициент эмерджентности Хартли для систем Sys\_1 и Sys\_2;

– LKEN\_SYSU – локальный коэффициент эмерджентности Хартли для объединенной системы (объединения систем Sys\_1 и Sys\_2), хорошо аппроксимируется кубическим степенным полиномом:

$$y = 0,009x^3 - 0,1766x^2 + 1,1767x - 0,0055$$
$$R^2 = 0,9999;$$

– ОКЕН – обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли.

Из таблицы 5 и рисунка 6 видно, что при повышении уровня сложности от 4 до 7 уровень системности 1-й и 2-й подсистем не увеличивается. Это связано с тем, что из-за небольшого количества базовых элементов в этих системах *отсутствуют* 5-й, 6-й и 7-й иерархические уровни, т.е. на них нет ни одного элемента. На других зависимостях также виден «эффект насыщения», проявляющийся в том, что с увеличением уровня сложности системный эффект увеличивается все медленнее и медленнее и выходит на некоторую асимптоту, определяемую количеством базовых элементов в исходных подсистемах.

**Выводы.** Итак, в разделе рассмотрена реализация операции объединения систем, являющаяся обобщением операции объединения множеств в рамках системного обобщения теории множеств. Эта операция сходна с операцией объединения булеанов классической теории множеств. Но в отличие от классической теории множеств в ее системном обобщении предлагается *конкретный алгоритм* объединения систем и обосновывается количественная мера системного (синергетического, эмерджентного) эффекта, возникающего за счет объединения систем. Для этой меры предложено название: «*Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли*» из-за сходства его математической формы с предложенным в 2001 году локальным коэффициентом эмерджентности Хартли, отражающим степень отличия системы от множества его базовых элементов. Приводится ссылка на авторскую программу, реализующую предложенный алгоритм и обеспечивающую численное моделирование объединения систем при различных ограничениях на сложность систем и при различной мощности порождающего множества, приводятся некоторые результаты численного моделирования.

**Перспективы.** В перспективе планируется более тщательно исследовать свойства объединения систем и разработать системные обобщения других операций над множествами<sup>89</sup>.

#### ***2.3.3.4.2. Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли как количественная мера синергетического эффекта объединения булеанов в системном обобщении теории множеств***

---

<sup>89</sup> См.: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Операции%20над%20множествами>



Данный раздел основан на работе [241]. В работе [240] предложено математическое выражение для обобщенного коэффициента эмерджентности Хартли<sup>90</sup>, количественно отражающего величину системного эффекта, возникающего при объединении систем. Для двух систем, образованных на базовых элементах множеств  $A$  и  $B$  (240):

$$I = \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_{A \cup B}^m}{\text{Log}_2 \left( \sum_{m=1}^M C_A^m \cup \sum_{m=1}^M C_B^m \right)} \quad (3.62)$$

Для объединения  $M$ -систем семейства  $\{K_\alpha\}_{\alpha \in A}$  (2):

$$I = \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_{Y K_\alpha}^m}{\text{Log}_2 Y \sum_{m=1}^M C_{K_\alpha}^m} \quad (3.63)$$

При получении этих выражений в работе [240] в соответствии с системной теорией информации (СТИ) [97] предполагается, что количество подсистем  $N_A$  в системе, образованной на некотором множестве базовых элементов  $A$ , равно сумме числа сочетаний этих элементов от 1 до  $M$ :

$$N_A = \sum_{m=1}^M C_A^m \quad (3.64)$$

**Обобщим выражения (1) и (2) без использования этого предположения.** Пусть  $P(A)$  – булеан (система), образованная на множестве базовых элементов  $A$ , а  $P(B)$  – система, образованная на множестве базовых элементов  $B$ . В объединение этих систем  $P(A) \cup P(B)$  входят все подсистемы обоих этих подсистем, тогда как в систему  $P(A \cup B)$ , образованную на объединении базовых множеств  $A \cup B$ , кроме того, входят подсистемы, включающие базовые элементы как 1-го, так и 2-го базовых множеств *одновременно*.

Поэтому система, образованная на объединении базовых множеств, имеет большую мощность, чем мощность объединения систем, образованных на исходных базовых множествах:

$$P(A \cup B) > P(A) \cup P(B) \quad (3.65)$$

<sup>90</sup> Назван так автором в работе [1] в честь этого выдающегося ученого в связи со сходством математической формы данного коэффициента с локальным коэффициентом эмерджентности Хартли [2], отражающим уровень системности локальной системы.

Вышесказанное практически полностью совпадает с классическим определением системного (синергетического, эмерджентного) эффекта: «Свойства системы превосходят сумму свойств ее частей и не сводятся к ним». При этом степень отличия свойств системы от свойств составляющих ее элементов (базового множества) обоснованно считать ее уровнем системности [240, 97, 186, 189, 191, 170, 196, 281].

Поэтому *предлагается* считать, что разность в мощности этих систем (системы, образованной на объединении базовых множеств, и системы, являющейся объединением систем, образованных на исходных базовых множествах) представляет собой системный эффект, возникший за счет их объединения:

$$S = P(A \cup B) - P(A) \cup P(B) \quad (3.66)$$

Используем классическую формулу Р.Хартли для количества информации, получаемого при идентификации элемента множества, состоящего из  $N$  элементов:

$$I = \text{Log}_2 N \quad (3.67)$$

для расчета *количества информации*, получаемого при идентификации одной из подсистем системы, образованной на объединении базовых множеств, и системы, являющейся объединением систем, образованных на исходных базовых множествах:

$$I_s = \text{Log}[P(A \cup B)] - \text{Log}[P(A) \cup P(B)] \quad (3.68)$$

Откуда непосредственно<sup>91</sup> получаем выражение для обобщенного коэффициента эмерджентности Хартли, независящее от предположения о способе образования подсистем на основе элементов базовых множеств:

$$I_s = \frac{\text{Log}[P(A \cup B)]}{\text{Log}[P(A) \cup P(B)]} \quad (3.69)$$

Заметим, что основание логарифма в выражении (3.38) не является существенным, т.к. берется их отношение.

Обобщим выражение (3.65) на произвольное количество систем. Пусть дано не 2 системы, а семейство систем:  $\{K_\alpha\}_{\alpha \in A}$ . Тогда для случая многих систем выражения (3.63) и (3.68) обобщаются следующим образом:

$$S = P\left(\bigcup_{\alpha \in A} K_\alpha\right) - \bigcup_{\alpha \in A} P(K_\alpha) \quad (3.70)$$

---

<sup>91</sup>  $\log_a \frac{b}{c} = \log_a |b| - \log_a |c| \quad \left(\frac{b}{c} > 0\right)$

$$I_s = \frac{\text{Log P}\left(\begin{matrix} Y \\ \alpha \in A \\ K_\alpha \end{matrix}\right)}{\text{Log Y P}(K_\alpha)} \quad (3.71)$$

Кроме того, в каждой из систем могут возникать составные элементы из ее *собственных* базовых элементов. Это приводит к системному эффекту, в результате которого система отличается от множества, т.е. содержит больше элементов, чем в порождающем множестве. Этот вид системного эффекта аналитически выражается локальным коэффициентом эмерджентности Хартли (3.67), который был получен *автором* в 2001 году [97] и назван так в честь этого ученого, внесшего большой вклад с разработку научной теории информации<sup>92</sup>:

$$\varphi = \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log}_2 W} \quad (3.72)$$

где:

$W$  – количество базовых элементов в системе;

$m$  – сложность составного элемента системы, т.е. подсистемы (количество базовых элементов в составном элементе);

$M$  – максимальная сложность подсистем (максимальное количество базовых элементов в составном элементе).

Обобщение локального коэффициента эмерджентности Хартли (3.72), независящее от способа образования подсистем, имеет вид (3.73).

$$\varphi = \frac{\text{Log P}(W)}{\text{Log } W} \quad (3.73)$$

*Например,* при объединении 2-х систем, содержащих на 1-м уровне иерархии *простые числа*, а на 2-м уровне *составные числа*, являющиеся произведениями различных пар простых сомножителей, образуется объединенная система, 1-й уровень которой является объединением 1-х уровней исходных систем, а 2-й образуется по тому же алгоритму, что и в них (рисунок 3.45)

<sup>92</sup> Приходится об этом напоминать, т.к. в ряде материалов, широко распространившихся в научной печати и в Internet, их авторы без ссылки на первичный источник информации о коэффициентах эмерджентности Хартли и Харкевича, *т.е. работы автора*, используют большие фрагменты из этих работ. Чтобы убедиться в этом достаточно сделать запрос: «[коэффициенты эмерджентности Хартли и Харкевича](#)»

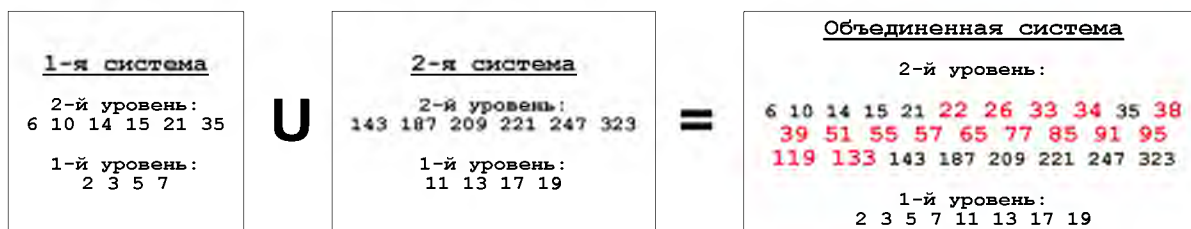


Рисунок 3.45 - Объединение 2-х систем из простых чисел на базовом уровне и сложных чисел, образованных из пар простых, на 2-м уровне<sup>93</sup>

В таблицах 3.37-3.42 приведены данные о том, какие составные числа произведениями каких простых являются в рассматриваемом примере:

Таблица 3.37 – Состав элементов 1-й системы

| Элемент | Уровень иерархии | Простые сомножители |     |
|---------|------------------|---------------------|-----|
|         |                  | 1-й                 | 2-й |
| 2       | 1                | 2                   |     |
| 3       | 1                | 3                   |     |
| 5       | 1                | 5                   |     |
| 7       | 1                | 7                   |     |
| 6       | 2                | 2                   | 3   |
| 10      | 2                | 2                   | 5   |
| 14      | 2                | 2                   | 7   |
| 15      | 2                | 3                   | 5   |
| 21      | 2                | 3                   | 7   |
| 35      | 2                | 5                   | 7   |

Таблица 3.38 - Состав элементов 2-й системы

| Элемент | Уровень иерархии | Простые сомножители |     |
|---------|------------------|---------------------|-----|
|         |                  | 1-й                 | 2-й |
| 11      | 1                | 11                  |     |
| 13      | 1                | 13                  |     |
| 17      | 1                | 17                  |     |
| 19      | 1                | 19                  |     |
| 143     | 2                | 11                  | 13  |
| 187     | 2                | 11                  | 17  |
| 209     | 2                | 11                  | 19  |
| 221     | 2                | 13                  | 17  |
| 247     | 2                | 13                  | 19  |
| 323     | 2                | 17                  | 19  |

Таблица 3.39 – Состав элементов объединенной системы

| Элемент | Уровень иерархии | Простые сомножители |     |
|---------|------------------|---------------------|-----|
|         |                  | 1-й                 | 2-й |
| 2       | 1                | 2                   |     |
| 3       | 1                | 3                   |     |
| 5       | 1                | 5                   |     |
| 7       | 1                | 7                   |     |
| 11      | 1                | 11                  |     |
| 13      | 1                | 13                  |     |
| 17      | 1                | 17                  |     |
| 19      | 1                | 19                  |     |
| 6       | 2                | 2                   | 3   |
| 10      | 2                | 2                   | 5   |

<sup>93</sup> Пример взят из работы (1) и разработан с помощью авторской программы, размещенной по адресу: <http://www.twirpx.com/file/370725/> при параметрах «по умолчанию» и максимальным уровнем сложности

|     |   |    |    |
|-----|---|----|----|
| 14  | 2 | 2  | 7  |
| 22  | 2 | 2  | 11 |
| 26  | 2 | 2  | 13 |
| 34  | 2 | 2  | 17 |
| 38  | 2 | 2  | 19 |
| 15  | 2 | 3  | 5  |
| 21  | 2 | 3  | 7  |
| 33  | 2 | 3  | 11 |
| 39  | 2 | 3  | 13 |
| 51  | 2 | 3  | 17 |
| 57  | 2 | 3  | 19 |
| 35  | 2 | 5  | 7  |
| 55  | 2 | 5  | 11 |
| 65  | 2 | 5  | 13 |
| 85  | 2 | 5  | 17 |
| 95  | 2 | 5  | 19 |
| 77  | 2 | 7  | 11 |
| 91  | 2 | 7  | 13 |
| 119 | 2 | 7  | 17 |
| 133 | 2 | 7  | 19 |
| 143 | 2 | 11 | 13 |
| 187 | 2 | 11 | 17 |
| 209 | 2 | 11 | 19 |
| 221 | 2 | 13 | 17 |

Таблица 3.40 – Состав элементов подсистемы объединенной системы, содержащей элементы, образованные за счет системного эффекта

| Элемент | Уровень иерархии | Простые множители |     |
|---------|------------------|-------------------|-----|
|         |                  | 1-й               | 2-й |
| 22      | 2                | 2                 | 11  |
| 26      | 2                | 2                 | 13  |
| 34      | 2                | 2                 | 17  |
| 38      | 2                | 2                 | 19  |
| 33      | 2                | 3                 | 11  |
| 39      | 2                | 3                 | 13  |
| 51      | 2                | 3                 | 17  |
| 57      | 2                | 3                 | 19  |
| 55      | 2                | 5                 | 11  |
| 65      | 2                | 5                 | 13  |
| 85      | 2                | 5                 | 17  |
| 95      | 2                | 5                 | 19  |
| 77      | 2                | 7                 | 11  |
| 91      | 2                | 7                 | 13  |
| 119     | 2                | 7                 | 17  |
| 133     | 2                | 7                 | 19  |

Числа, показанные на рисунке 3.38-3.40 черным цветом на 2-м уровне объединенной системы, есть на 2-м уровне либо 1-й системы, либо 2-й. Если бы системы объединялись как множества, то никаких других элементов на 2-м уровне объединенной системы и не было бы. Но при объединении систем в объединенной системе могут возникать элементы, образованные из сочетаний базовых элементов нескольких исходных систем одновременно, которых не было в исходных системах и которые могли образоваться только в объединенной системе. В нашем примере на рисунке 3 это числа, показанные более крупным шрифтом и красным цветом на 2-м уровне

объединенной системы, образованные из различных пар простых чисел, одно из которых принадлежит 1-й системе, а 2-е – второй (см. таблицы 3.37–3.40).

Все полученные выражения стандартно обобщаются также на непрерывный случай путем замены факториалов при расчете числа сочетаний на гамма-функции [97].

В результате запуска этой программы с последовательно увеличивающимся параметром «уровень сложности» при одних и тех же диапазонах базовых элементов, указанных выше, получим результаты, сведенные в таблице 3.41 и на рисунке 3.46.

Таблица 3.41 – Зависимость локальных и обобщенного коэффициентов эмерджентности Хартли от сложности объединяемых систем

| Уровень сложности | Локальный коэффициент эмерджентности Хартли |             |                      | Обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли |
|-------------------|---------------------------------------------|-------------|----------------------|----------------------------------------------|
|                   | 1-й системы                                 | 2-й системы | Объединенной системы |                                              |
| 1                 | 1,0000000                                   | 1,0000000   | 1,0000000            | 1,0000000                                    |
| 2                 | 1,6609640                                   | 1,6609640   | 1,7233083            | 1,1962080                                    |
| 3                 | 1,9036775                                   | 1,9036775   | 2,1745207            | 1,3569961                                    |
| 4                 | 1,9534453                                   | 1,9534453   | 2,4466167            | 1,4958251                                    |
| 5                 | 1,9534453                                   | 1,9534453   | 2,5893948            | 1,5831175                                    |
| 6                 | 1,9534453                                   | 1,9534453   | 2,6475048            | 1,6186451                                    |
| 7                 | 1,9534453                                   | 1,9534453   | 2,6628949            | 1,6280544                                    |
| 8                 | 1,9534453                                   | 1,9534453   | 2,6647845            | 1,6292096                                    |
| 9                 | 1,9534453                                   | 1,9534453   | 2,6647845            | 1,6292096                                    |

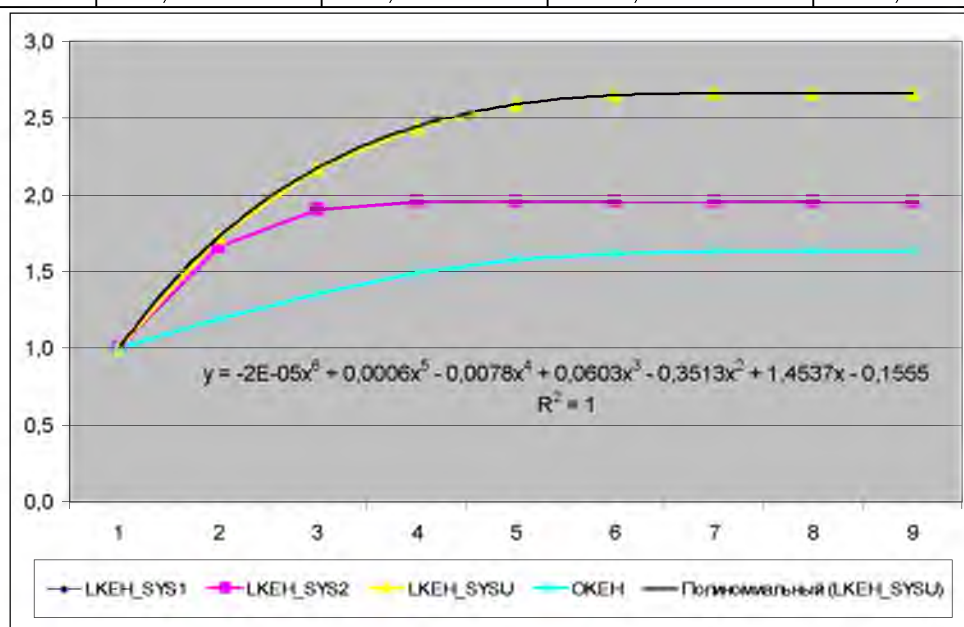


Рисунок 3.46 - Зависимость локальных и обобщенного коэффициентов эмерджентности Хартли от сложности объединяемых систем

На рисунке 3.46 использованы обозначения:

– LKEN\_SYS1 – локальный коэффициент эмерджентности Хартли для систем Sys\_1 и Sys\_2;

– LKEN\_SYSU – локальный коэффициент эмерджентности Хартли для объединенной системы (объединения систем Sys\_1 и Sys\_2), хорошо аппроксимируется кубическим степенным полиномом:

$$y = -2E-05x^6 + 0,0006x^5 - 0,0078x^4 + 0,0603x^3 - 0,3513x^2 + 1,4537x - 0,1555$$
$$R^2 = 1$$

– ОКЕН – обобщенный коэффициент эмерджентности Хартли.

Из таблицы 5 и рисунка 2 видно, что при повышении уровня сложности от 4 до 9 уровень системности 1-й и 2-й подсистем не увеличивается. Это связано с тем, что из-за небольшого количества базовых элементов этих системах *отсутствуют* иерархические уровни с 5-го по 9-й, т.е. на них нет ни одного элемента. На других зависимостях также виден «эффект насыщения», проявляющийся в том, что с увеличением уровня сложности системный эффект увеличивается все медленнее и медленнее и выходит на некоторую асимптоту, определяемую количеством базовых элементов в исходных подсистемах.

**Выводы.** В работе предлагается общее математическое выражение для количественной оценки системного (синергетического) эффекта, возникающего при объединении булеанов (систем), являющихся обобщением множества в системном обобщении теории множеств и независимое от способа (алгоритма) образования подсистем в системе. Для этой количественной меры предложено название: «Обобщенный коэффициент эмерджентности Р.Хартли» из-за сходства его математической формы с локальным коэффициентом эмерджентности Хартли, отражающим степень отличия системы от множества его базовых элементов. Для локального коэффициента эмерджентности Хартли также предложено обобщение, независимое от способа (алгоритма) образования подсистем в системе. Приводятся численные оценки системного эффекта при объединении двух систем с применением авторской программы, на которую дается ссылка.

**Перспективы.** В перспективе планируется более тщательно исследовать свойства объединения систем, конкретизировать полученные математические выражения для различных способов образования подсистем на основе элементов базовых множеств [257], разработать системные обобщения других операций над множествами<sup>94</sup>.

---

<sup>94</sup> См.: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Операции%20над%20множествами>

**4 Лекция-4. Проблемы управления сложными, многопараметрическими, нелинейными, активными социально-экономическими системами. Требования к экономико-математическим моделям и программному инструментарию для управления социально экономическими системами, информация о которых неполна (фрагментирована) и зашумлена. Принцип Эшби<sup>95</sup>**

*Рассмотрено применение Системно-когнитивного анализа и интеллектуальной системы «Эйдос-Х++» для создания моделей сложных многофакторных нелинейных объектов управления на основе зашумленных фрагментированных эмпирических данных большой размерности и для применения этих моделей для решения задач прогнозирования, принятия управляющих решений и исследования моделируемых объектов. Сформулировано системное обобщение принципа Эшби (для нелинейных систем). Приведен численный пример исследования абстрактной нелинейной системы (фигуры Лиссажу), в которой совместное влияние нескольких факторов не является суммой влияний каждого из этих факторов по отдельности, что говорит о невыполнении для этих факторов принципа суперпозиции и нелинейных эффектах в рассматриваемой системе. Показано, что предлагаемый аппарат и программный инструментарий позволяют успешно моделировать подобные системы. Отметим, что предлагаемый аппарат и инструментарий позволяют интерпретировать одни классификационные шкалы, как прогнозируемые географические координаты событий, а другие, как прогнозируемые события и степень их выраженности, что позволяет получить картографическую визуализацию результатов распознавания места и времени событий*

*In the article, we have considered the application of a system-cognitive analysis and the Eidos-X++ intellectual system to create complex multifactor models of nonlinear control objects on the basis of noisy fragmented empirical data of large dimension and for the use of these models to solve problems of forecasting, executive decision making and research of the model objects. We have formulated the systematic generalization of the principle of Ashby (for nonlinear systems). The numerical example of a study of an abstract nonlinear system (Lissajous figures), in which the combined effect of multiple factors is the sum of the influences of each of these factors separately, that says about non-compliance of these factors, the principle of superposition and nonlinear effects in the system under consideration. It is shown, that the proposed device and software tools allow us to model such*

---

<sup>95</sup> Луценко Е.В. Моделирование сложных многофакторных нелинейных объектов управления на основе фрагментированных зашумленных эмпирических данных большой размерности в системно-когнитивном анализе и интеллектуальной системе «Эйдос-Х++» / Е.В. Луценко, В.Е. Коржаков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №07(091). С. 164 – 188. – IDA [article ID]: 0911307012. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/12.pdf>. 1,562 у.п.л.



*systems. We note, that the proposed device and instrumentation allow to interpret some classification scale, as projected geographical coordinates of the event, and others, like the foreseeable events and their severity, which allows you to get cartographic visualization of recognition of the place and time of events*

В современной теории автоматического управления (ТАУ)<sup>96</sup> моделирование многофакторных нелинейных объектов управления представляет собой сложную, в большинстве случаев не разрешимую на практике, математическую и вычислительную проблему. Причинами этой практической неразрешимости являются высокая степень математической сложности моделей и отсутствие численных методов и реализующего их программного инструментария для проведения расчетов.

В тоже время в системно-когнитивном анализе (СК-анализ) и его программном инструментарии – интеллектуальной системе «Эйдос-Х++» эта проблема находит реальное, достаточно простое и технологичное решение.

Рассмотрим последовательно некоторые понятия, используемые в названии статьи.

Начнем с понятия *сложности*, т.к. интуитивно понятно, что чем сложнее система, тем сложнее ей управлять [1]. Фундаментальный принцип, раскрывающий *природу взаимосвязи* между сложностью системы и проблематичностью управления ею предложен одним из основателей кибернетики Уильямом Россом Эшби и в современной науке носит его имя.



Уильям Росс Эшби,  
1960 г.

*Принцип Эшби:* «Управление может быть обеспечено только в том случае, если *разнообразие* средств управляющего (в данном случае всей системы управления) по крайней мере не меньше, чем *разнообразие* управляемой им ситуации»<sup>97</sup>.

Обычно принцип Эшби интерпретируется таким образом, что число факторов в модели должно быть не меньше числа состояний объекта управления.

Принцип Эшби не означает, что если модель объекта управления отражает не все действующие на него факторы<sup>98</sup>, то управление им будет невозможно, а означает лишь, что в этом случае управление будет не полным, не детерминистским. При этом под фактором фактически понимается значение фактора и неявно предполагается, что каждое будущее состояние объекта управления детерминируется одним значением фактора и между значениями факторов и состояниями существует взаимно-однозначное соответствие, т.е. *по сути, предполагается, что модель объекта*

<sup>96</sup> См., например: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Теория%20автоматического%20управления>

<sup>97</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Эшби.%20Уильям>

<sup>98</sup> Факторы, действующие на объект управления делятся на внутренние и внешние, а внешние в свою очередь на технологические факторы, т.е. факторы зависящие от управляющей системы, и факторы окружающей среды, независящие от нее.

управления является детерминистской, факторы не зависят друг от друга (ортонормированны) и не взаимодействуют друг с другом, т.е. по сути, образуют множество, а не систему факторов.

Однако если рассматривать объект управления как систему в цикле управления (рисунок 4.1), то можно интерпретировать признаки как значения факторов, воздействующих на систему, а классы как эмерджентные свойства системы или ее будущие состояния, некоторые из которых являются целевыми, а некоторые нежелательными:

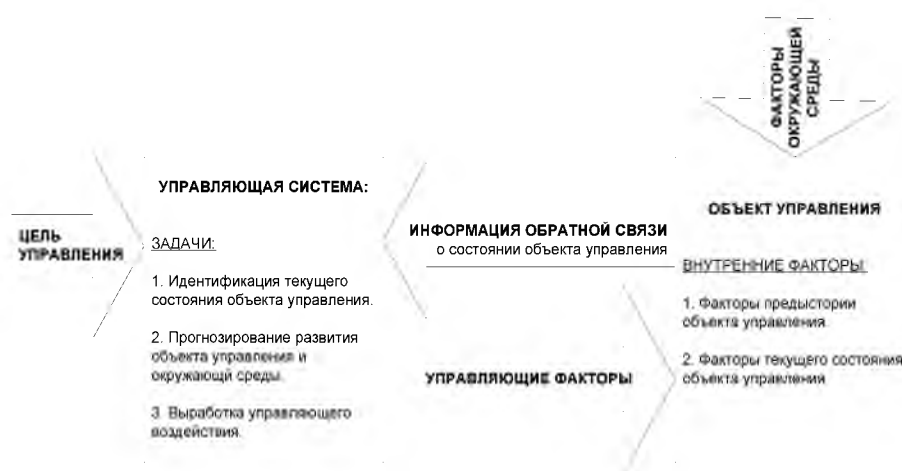


Рисунок 4.1 - Объект управления как система в цикле управления

Это означает, что принцип Эшби может быть обобщен с учетом системных представлений следующим образом:

*«Для того чтобы управление было полным (детерминистским) модель объекта управления должна описывать силу и направление влияния на объект управления не меньшего суммарного количества различных сочетаний значений факторов, чем количество возможных будущих состояний объекта управления».*

Предлагается также следующая формулировка **системного обобщения принципа Эшби**: *«Чем больше различных сочетаний значений факторов действует на объект управления, тем выше степень детерминированности управления им».*

Из приведенной выше формулировки системного обобщения принципа Эшби вытекает следствие: *«Степень детерминированности управления системой тем выше, чем выше ее эмерджентность (уровень системности), количественно измеряемая коэффициентом эмерджентности Хартли».*

Если в классическом принципе Эшби объект управления рассматривается как **многофакторный линейный черный ящик**<sup>99</sup>, т.е. черный ящик со многими входами и многими выходами не имеющий никакой внутренней структуры, то в системном обобщении принципа Эшби объект управления рассматривается как **система однофакторных черных ящиков**, каждый из которых имеет один вход и один выход, взаимодействующих

<sup>99</sup> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Чёрный%20ящик>

между собой и образующих подсистемы, что приводит к нарушению линейности объекта управления. Таким образом, системное обобщение принципа Эшби основано на введении внутренней иерархической структуры черного ящика.

*Объект управления называется **линейным***, если результат совместного действия на него совокупности факторов равен **сумме** результатов влияния на него каждого из этих факторов по отдельности [2, 3].

Это означает, что *в линейном объекте управления факторы не взаимодействуют между собой внутри объекта управления*, не образуют подсистем детерминации, т.е. по сути, являются не системой, а **множеством** факторов. В **нелинейных** объектах управления факторы образуют *систему* с определенным уровнем системности, с новыми эмерджентными (системными) свойствами, не сводящимися к свойствам факторов, рассматриваемым по отдельности. **Чем ниже уровень системности (эмерджентность) объекта управления, тем он как система ближе к множеству и к линейности.**

Понятие линейных объектов является предельной абстракцией наподобие материальной математической точки и реально линейных объектов не существует. Но на практике нелинейностью объектов в ряде случаев можно обоснованно и корректно пренебречь, т.к. степень их нелинейности настолько мала, что ее неучет существенно не сказывается на адекватности модели и достоверности решаемых на ее основе задач прогнозирования, принятия решений и исследования моделируемого объекта.

Однако в ряде случаев уровень системности объекта управления настолько высок, что его нелинейностью его пренебречь нельзя без существенной потери адекватности моделирования и решения перечисленных выше задач. К подобным объектам относятся социально-экономические и социально-психологические системы, а также биологические (в частности экологические) и человеко-машинные системы. Обычно в этом случае подобными объектами пытаются с переменной степенью успешности управлять с использованием слабоформализованных подходов (на основе интуитивных экспертных оценок на основе опыта и профессиональной компетенции, т.е. мягко говоря «на глазок», а грубо говоря «от фонаря» или как сейчас говорят: «в режиме ручного управления») без использования математического моделирования и компьютерных технологий.

Приведем наглядный пример, когда неучет нелинейности объекта управления приводит к некорректным результатам. Рассмотрим **N условных** успешно защищенных диссертаций:

- в 1-й из которых исследуется влияние глубины вспашки на урожайность и качество определенного сорта пшеницы;
- во 2-й – влияние способа вспашки на тоже самое;
- в 3-й – влияние полива;
- в 4-й – дозы определенного вида удобрений;

- в 5-й – способа внесения этих удобрений;
- в 6-й – времени внесения этих удобрений;
- в 7-й – дозы определенного вида средств защиты;
- в 8-й – способа внесения этих средств защиты;
- в 9-й – времени внесения этих средств защиты.

Ясно, что этот список легко продолжить.

В каждой из этих диссертаций на основе многолетних исследований (не менее 5 лет) убедительно показано, что каждый из перечисленных факторов как-то влияет на хозяйственные результаты. Принципиальный вид кривой влияния интенсивности фактора на результат при этом получается очень похожий у всех факторов (для примера на рисунке 2 показаны 3 из них) /рисунок 4.2/.

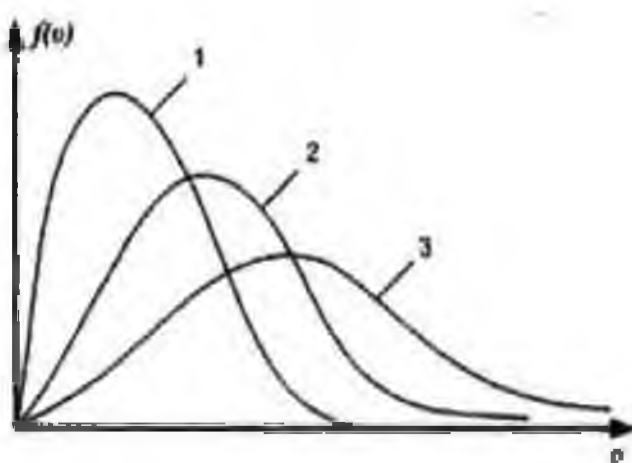


Рисунок 4.2 - Принципиальный вид кривой влияния интенсивности фактора на урожайность или на качество пшеницы<sup>100</sup>.

*Например*, если по оси X показать интенсивность полива, а по Y урожайность, то график на рисунке 2 можно интерпретировать таким образом, что при полном отсутствии полива урожайность будет минимальной, при его увеличении урожайность будет возрастать, сначала быстро, потом все медленнее, потом достигнет максимума, а потом при дальнейшем увеличении полива она начнет уменьшаться пока опять не достигнет минимума, когда все поле превратится в озеро. *Принципиально важно, что один и тот же полив будет действовать по-разному при условии одновременного действия других факторов, причем при этом смещается точка оптимума, т.е. при действии других факторов оптимальный полив становится другой, в чем и проявляется нелинейность системы и взаимодействие факторов, нарушение для них принципа суперпозиции (кривые 1, 2, 3 на рисунке 2).*

Однако в наших условных диссертациях, не учитывающих результаты друг друга, нелинейность объекта управления игнорируется, и,

<sup>100</sup> Источник рисунка: [http://san-of-war2.narod.ru/fiziks/fiziks\\_image481.jpg](http://san-of-war2.narod.ru/fiziks/fiziks_image481.jpg) На самом деле на рисунке показано распределение Максвелла молекул газа по скоростям при разных температурах. Удивительно, но подобный вид имеет влияние интенсивности различных факторов на различные

соответственно, в каждой из них сделаны выводы и предложены рекомендации применять такой-то отдельный фактор в таком-то значении, что, по выводам диссертации, повышает урожайность, например на 3.8%, а качество на 5.2%.

Теперь представим себе руководителя *реального* хозяйства, который захотел бы воспользоваться рекомендациями ученых и дал задание своим специалистам ознакомиться с предлагаемыми этими учеными рекомендациями по материалам диссертаций, защищенных в данной области науки к примеру за последние 10 лет. Специалисты дотошно выписали из каждой диссертации предлагаемые в ней рекомендации и свели их в общую таблицу с указанием ожидаемой за счет применения рекомендации хозяйственной эффективности<sup>101</sup>, а потом взяли и сложили проценты повышения урожайности и качества. Когда они увидели результат, то сразу поняли, что что-то здесь не то, причем совсем не то. А именно суммарный процент повышения урожайности от одновременного применения всех рекомендаций может составить, например 2500%, т.е. с каждого гектара будет собираться не 50-60 центнеров пшеницы (фактические данные по Краснодарскому краю за 2013 год<sup>102</sup>), а десятки и сотни тонн с гектара.

Ясно, что реальное одновременное применение всех рекомендаций (даже не противоречащих друг другу) никогда не даст подобного повышения, если после этого вообще что-нибудь вырастет. Причина в ярко-выраженной *нелинейности* объекта управления, обусловленной его высоким уровнем системности, т.е. эмерджентностью.

Какие же *выводы* можно сделать из приведенного примера, и какой же *выход* возможен из этой ситуации?

По-видимому, из приведенного примера можно сделать обоснованный **вывод** о том, что *линейные однофакторные модели сложных многофакторных систем с ярко-выраженной нелинейностью, не имеют уровня адекватности, достаточного для их корректного применения на практике для решения задач прогнозирования и принятия решений*. При этом необходимо отметить, что линейные приближения хорошо проявляют себя в технических системах управления (САУ и АСУ), т.к. технические объекты управления обычно представляют собой практически линейные системы. Напрашиваются и другие выводы, но мы не будем их формулировать, т.к. они выходят за пределы нашей компетентности.

А **выход** напрашивается сам собой: это *применение системного подхода для исследования подобных сложных объектов управления и создание их системных многофакторных нелинейных моделей*.

Однако реализация этого подхода наталкивается на ряд проблем [9]. Про математические проблемы и проблемы с численными и методами и

---

<sup>101</sup> Об экономической эффективности разговор отдельный. Вообще говоря, для достижения хозяйственной и экономической эффективности требуются разные ситуации и обуславливающие их факторы и в условиях рыночной экономики возникает закономерный вопрос о том, насколько оправдано стремиться к высоким хозяйственным результатам неэффективным экономически. В условиях плановой экономики этот вопрос просто не возникал.

<sup>102</sup> См., например: <http://www.apk-inform.com/ru/news/1018318#.UfYXbl-Ghdg>



реализующим их программным обеспечением мы уже упоминали выше. Эти проблемы усугубляются тем, что обычно факторы, влияющие на объект управления, имеют различную природу и измеряются в различных единицах измерения, а эмпирические данные, на основе которых строятся модели, имеют очень большую размерность, сильно фрагментированы и зашумлены. Поэтому методы и системы классической статистики для решения подобных задач малоприменимы.

Существенным является также «человеческий фактор», состоящий в том, что ученые, руководители и чиновники просто не осведомлены о том, что уже примерно 20 лет существуют и математические модели, и численные методы и программный инструментарий (имеются в виду СК-анализ и система «Эйдос»), основанные на теории информации и методах искусственного интеллекта, которые позволяют корректно решать эти проблемы [4 – 8]<sup>103</sup>. Но на эти методы и инструменты лица, по идее больше всех заинтересованные в их применении, много лет не обращают никакого внимания. Это очень странно еще и потому, что по данной проблематике изданы *десятки* монографий и *сотни* статей ряда авторов и защищено много кандидатских и докторских диссертаций в различных областях науки [9]<sup>104</sup>.

**Рассмотрим, как учитывается нелинейность моделируемого объекта в СК-анализе и системе «Эйдос».**

Пусть объект управления имеет 8 будущих состояний и на его переход в эти состояния оказывают влияние 8 факторов.

В таблице 4.1 приведен вариант взаимно-однозначного соответствия между состояниями и факторами, когда переход объекта управления в каждое из будущих состояний однозначно определяется действием соответствующего фактора.

Таблица 4.1 – Взаимосвязь между управляющими факторами и будущими состояниями объекта управления в случае линейного объекта управления

| Значения факторов | Классы |   |   |   |   |   |   |   | Сумма |
|-------------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|-------|
|                   | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |       |
| 1                 | 1      |   |   |   |   |   |   |   | 1     |
| 2                 |        | 1 |   |   |   |   |   |   | 1     |
| 3                 |        |   | 1 |   |   |   |   |   | 1     |
| 4                 |        |   |   | 1 |   |   |   |   | 1     |
| 5                 |        |   |   |   | 1 |   |   |   | 1     |
| 6                 |        |   |   |   |   | 1 |   |   | 1     |
| 7                 |        |   |   |   |   |   | 1 |   | 1     |
| 8                 |        |   |   |   |   |   |   | 1 | 1     |
| 9                 |        |   |   |   |   |   |   |   | 0     |
|                   | 1      | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8     |

При этом не рассматривается вопрос о том, что объект управления может перейти одновременно сразу в несколько будущих состояний, например, на данном поле, для которого сделан прогноз, может быть получен

<sup>103</sup> См., также: [http://lc.kubagro.ru/index\\_kubagro.htm](http://lc.kubagro.ru/index_kubagro.htm) и <http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>

<sup>104</sup> См.: [http://lc.kubagro.ru/index\\_kubagro.htm](http://lc.kubagro.ru/index_kubagro.htm)

определенный урожай пшеницы некоторого качества. Этот вопрос мы рассмотрим ниже.

В таблице 4.2 приведен расчет силы и направления влияния управляющих факторов из таблицы 1 на поведение объекта управления в соответствии с математической моделью СК-анализа [6].

Таблица 4.2 - Сила и направление влияния управляющих факторов на поведение линейного объекта управления в битах

| Значения факторов | Классы |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| 1                 | 3,000  |       |       |       |       |       |       |       |
| 2                 |        | 3,000 |       |       |       |       |       |       |
| 3                 |        |       | 3,000 |       |       |       |       |       |
| 4                 |        |       |       | 3,000 |       |       |       |       |
| 5                 |        |       |       |       | 3,000 |       |       |       |
| 6                 |        |       |       |       |       | 3,000 |       |       |
| 7                 |        |       |       |       |       |       | 3,000 |       |
| 8                 |        |       |       |       |       |       |       | 3,000 |

В СК-анализе силой и направлением влияния фактора является *количество информации*, которое содержится в факте его действия о переходе объекта управления в определенное будущее состояние. Так как в нашем примере состояния равновероятные и их 8, то это количество информации в соответствии с формулой Хартли равно 3.

Теперь рассмотрим случай, когда будущие состояния объекта управления обуславливаются действием не одного, а двух факторов (таблица 3):

Таблица 4.3 – Взаимосвязь между управляющими факторами и состояниями объекта управления в случае нелинейного объекта управления

| Значения факторов | Классы |   |   |   |   |   |   |   | Сумма |
|-------------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|-------|
|                   | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |       |
| 1                 | 1      |   |   |   |   |   |   |   | 1     |
| 2                 | 1      | 1 |   |   |   |   |   |   | 2     |
| 3                 |        | 1 | 1 |   |   |   |   |   | 2     |
| 4                 |        |   | 1 | 1 |   |   |   |   | 2     |
| 5                 |        |   |   | 1 | 1 |   |   |   | 2     |
| 6                 |        |   |   |   | 1 | 1 |   |   | 2     |
| 7                 |        |   |   |   |   | 1 | 1 |   | 2     |
| 8                 |        |   |   |   |   |   | 1 | 1 | 2     |
| 9                 |        |   |   |   |   |   |   | 1 | 1     |
|                   | 2      | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 16    |

Для того, чтобы на переход объекта управления в 8-е состояние тоже действовало два фактора введен 9-й фактор.

В таблице 4.4 приведен расчет силы и направления влияния управляющих факторов из таблицы 3 на поведение объекта

управления в соответствии с математической моделью АСК-анализа [6, 10]:

Таблица 4.4 – Сила и направление влияния управляющих факторов на поведение нелинейного объекта управления в битах

|   | Классы |       |       |       |       |       |       |       |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| 1 | 2,250  |       |       |       |       |       |       |       |
| 2 | 1,500  | 1,500 |       |       |       |       |       |       |
| 3 |        | 1,500 | 1,500 |       |       |       |       |       |
| 4 |        |       | 1,500 | 1,500 |       |       |       |       |
| 5 |        |       |       | 1,500 | 1,500 |       |       |       |
| 6 |        |       |       |       | 1,500 | 1,500 |       |       |
| 7 |        |       |       |       |       | 1,500 | 1,500 |       |
| 8 |        |       |       |       |       |       | 1,500 | 1,500 |
| 9 |        |       |       |       |       |       |       | 2,250 |

$$I_{ij} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{ij} N}{N_i N_j}; \quad I_{ij} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_i}$$

$$N_i = \sum_{j=1}^W N_{ij}; \quad N_j = \sum_{i=1}^M N_{ij};$$

$$N = \sum_{i=1}^M N_i = \sum_{j=1}^W N_j = \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^M N_{ij}$$

$$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j}; \quad P_i = \frac{N_i}{N}$$

где:

$I_{ij}$  – количество информации в факте действия  $i$ -го значения фактора о переходе объекта управления в  $j$ -е состояние, соответствующее  $j$ -му классу;

$N_{ij}$  – суммарное количество наблюдений в исследуемой выборке факта: "действовало  $i$ -е значение фактора и объект перешел в  $j$ -е состояние";

$N_j$  – суммарное количество встреч различных факторов у объектов, перешедших в  $j$ -е состояние;

$N_i$  – суммарное количество встреч  $i$ -го фактора у всех объектов исследуемой выборки;

$N$  – суммарное количество встреч различных факторов у всех объектов исследуемой выборки;

$P_{ij}$  – условная относительная частота<sup>105</sup> перехода объекта управления в  $j$ -е состояние, соответствующее  $j$ -му классу под действием  $i$ -го значения фактора;

$P_i$  – безусловная относительная частота наблюдения  $i$ -го значения фактора;

<sup>105</sup> Стремящаяся к вероятности при неограниченном увеличении объема выборки



$\Psi$  – нормировочный коэффициент, полученный в работе [6] и названный в честь Хартли коэффициентом эмерджентности Хартли;

$W$  – количество классов, т.е. будущих состояний объекта управления;

$M$  – количество значений факторов, обуславливающих будущие состояния объекта управления.

Из таблицы 4 мы видим, что сила влияния факторов на поведение объекта управления уменьшилась в два раза для всех факторов, кроме 1-го, у которого она тоже уменьшилась, но в меньшей степени и является такой же, как у 9-го фактора. Это различие обусловлено тем, что все факторы, кроме 1-го и 9-го, влияют на переход объекта управления в 2 состояния: 2-й фактор на 1-е и 2-е состояния, 3-й – на 2-е и 3-е состояния, и т.д., а 1-й и 9-й факторы влияют на переход только в одно состояние: 1-е и 8-е соответственно.

Это означает, что если с применением системы «Эйдос» создать системно-когнитивную модель влияния на урожайность и качество пшеницы **всех факторов**, исследованных в упомянутых ранее условных диссертациях (а она это позволяет сделать), то сила влияния каждого из них будет такой, какой она указана в этих диссертациях, а значительно меньше, что и полностью решает проблему, сформулированную выше на примере условных диссертаций, и это решение основано на учете нелинейности объекта управления. Подобные модели приведены в монографиях [11, 12]<sup>106</sup> и статьях [13-16]. Кроме того необходимо отметить, что в статьях [13-16] впервые построена многофакторная нелинейная модель сложной природно-экономической системы и исследовано влияние технологических и финансово-экономических факторов как на хозяйственные, так и на финансово-экономические результаты.

Теперь рассмотрим как в СК-анализе и системе «Эйдос» моделируется ситуация, когда на объект управления **одновременно** действует несколько факторов и он может перейти **одновременно** сразу в несколько не альтернативных будущих состояний, например, на данном поле, для которого сделан прогноз, может быть получен определенный урожай пшеницы некоторого качества.

На простейших примерах рассмотрим исходную модель, а затем модель, учитывающую *системы* значений факторов и будущих состояний. При этом будем придерживаться схемы обработки данных, информации и знаний в СК-анализе и системе Эйдос-Х++, обоснованной в работах [1-10] и других и приведенной на рисунке 4.3:

---

<sup>106</sup> Для удобства читателей они размещены на сайте автора: <http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>

## Последовательность обработки данных, информации и знаний в системе Эйдос-Х++

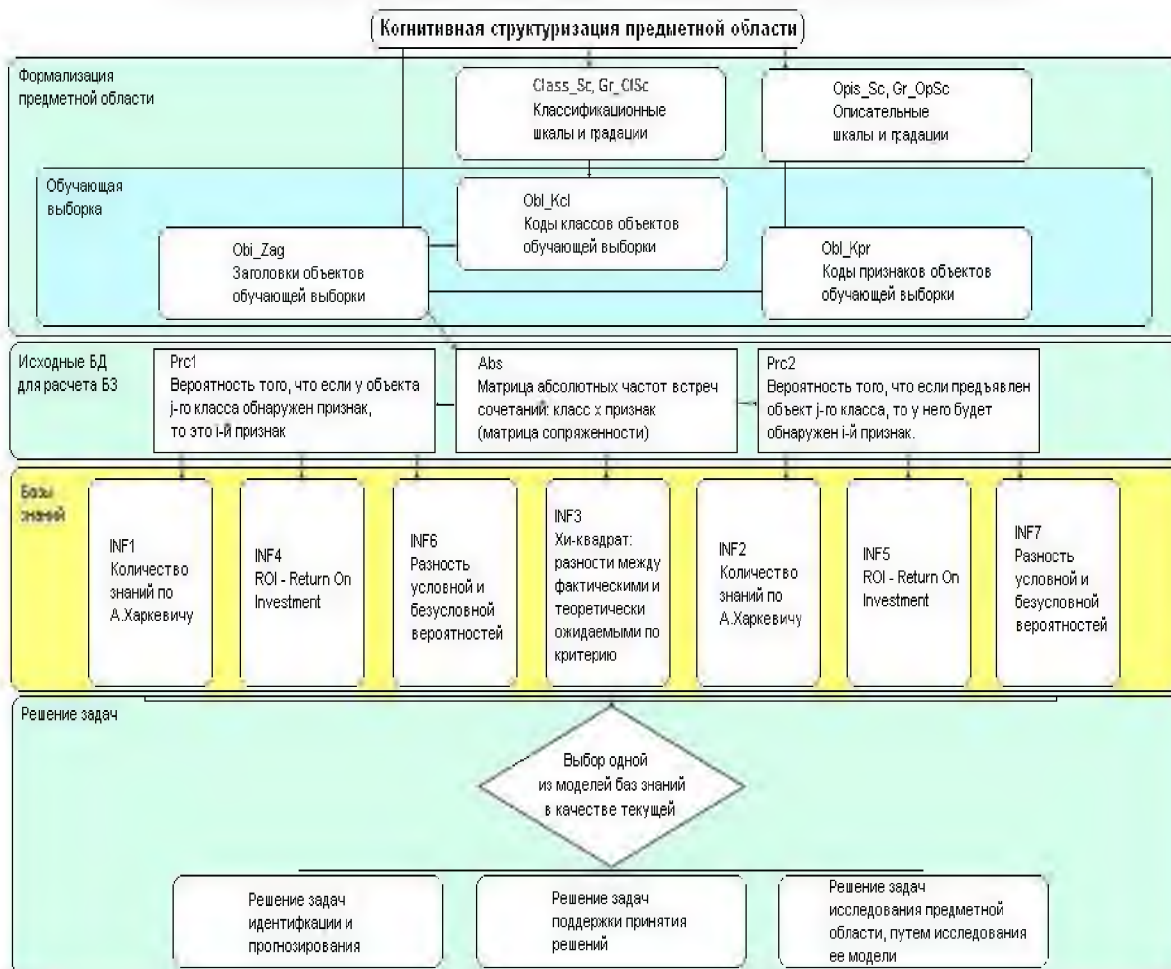


Рисунок 4.3 - Схема обработки данных, информации и знаний в АСК-анализе и системе Эйдос-Х++

Исходные данные для построения исходной и обобщенной моделей приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Исходные данные для построения исходной и обобщенной моделей<sup>107</sup>

| Аргумент | Классификационные шкалы |            | Описательные шкалы |            |
|----------|-------------------------|------------|--------------------|------------|
|          | А                       | В          | С                  | Д          |
| 0        | 1,0000000               | 0,0000000  | 0,0000000          | 1,0000000  |
| 10       | 0,9396926               | 0,6427876  | 345,9431619        | 0,9396926  |
| 20       | 0,7660444               | 0,9848078  | 439,2317423        | 0,7660444  |
| 30       | 0,5000000               | 0,8660254  | 495,4196310        | 0,5000000  |
| 40       | 0,1736482               | 0,3420201  | 535,7552005        | 0,1736482  |
| 50       | -0,1736482              | -0,3420201 | 567,2425342        | -0,1736482 |
| 60       | -0,5000000              | -0,8660254 | 593,0737338        | -0,5000000 |
| 70       | -0,7660444              | -0,9848078 | 614,9747120        | -0,7660444 |
| 80       | -0,9396926              | -0,6427876 | 633,9850003        | -0,9396926 |
| 90       | -1,0000000              | -0,0000000 | 650,7794640        | -1,0000000 |
| 100      | -0,9396926              | 0,6427876  | 665,8211483        | -0,9396926 |
| 110      | -0,7660444              | 0,9848078  | 679,4415866        | -0,7660444 |
| 120      | -0,5000000              | 0,8660254  | 691,8863237        | -0,5000000 |

<sup>107</sup> Авторы сознательно приводят полные исходные данные, промежуточные и результирующие базы данных и формулы расчетов, чтобы при желании можно было проверить все расчеты

|     |            |            |             |            |
|-----|------------|------------|-------------|------------|
| 130 | -0,1736482 | 0,3420201  | 703,3423002 | -0,1736482 |
| 140 | 0,1736482  | -0,3420201 | 713,9551352 | 0,1736482  |
| 150 | 0,5000000  | -0,8660254 | 723,8404739 | 0,5000000  |
| 160 | 0,7660444  | -0,9848078 | 733,0916878 | 0,7660444  |
| 170 | 0,9396926  | -0,6427876 | 741,7852515 | 0,9396926  |
| 180 | 1,0000000  | -0,0000000 | 749,9845887 | 1,0000000  |
| 190 | 0,9396926  | 0,6427876  | 757,7428828 | 0,9396926  |
| 200 | 0,7660444  | 0,9848078  | 765,1051691 | 0,7660444  |
| 210 | 0,5000000  | 0,8660254  | 772,1099189 | 0,5000000  |
| 220 | 0,1736482  | 0,3420201  | 778,7902559 | 0,1736482  |
| 230 | -0,1736482 | -0,3420201 | 785,1749041 | -0,1736482 |
| 240 | -0,5000000 | -0,8660254 | 791,2889336 | -0,5000000 |
| 250 | -0,7660444 | -0,9848078 | 797,1543554 | -0,7660444 |
| 260 | -0,9396926 | -0,6427876 | 802,7905997 | -0,9396926 |
| 270 | -1,0000000 | -0,0000000 | 808,2149041 | -1,0000000 |
| 280 | -0,9396926 | 0,6427876  | 813,4426320 | -0,9396926 |
| 290 | -0,7660444 | 0,9848078  | 818,4875343 | -0,7660444 |
| 300 | -0,5000000 | 0,8660254  | 823,3619677 | -0,5000000 |
| 310 | -0,1736482 | 0,3420201  | 828,0770770 | -0,1736482 |
| 320 | 0,1736482  | -0,3420201 | 832,6429487 | 0,1736482  |
| 330 | 0,5000000  | -0,8660254 | 837,0687407 | 0,5000000  |
| 340 | 0,7660444  | -0,9848078 | 841,3627929 | 0,7660444  |
| 350 | 0,9396926  | -0,6427876 | 845,5327220 | 0,9396926  |
| 360 | 1,0000000  | -0,0000000 | 849,5855027 | 1,0000000  |

С помощью универсального программного интерфейса ввода данных в систему Эйдос-Х++ из внешних баз данных (режим 2.3.2.2) таблица 4.5 была автоматически введена в систему из MS Excel при следующих параметрах (рисунки 4.4-4.5):

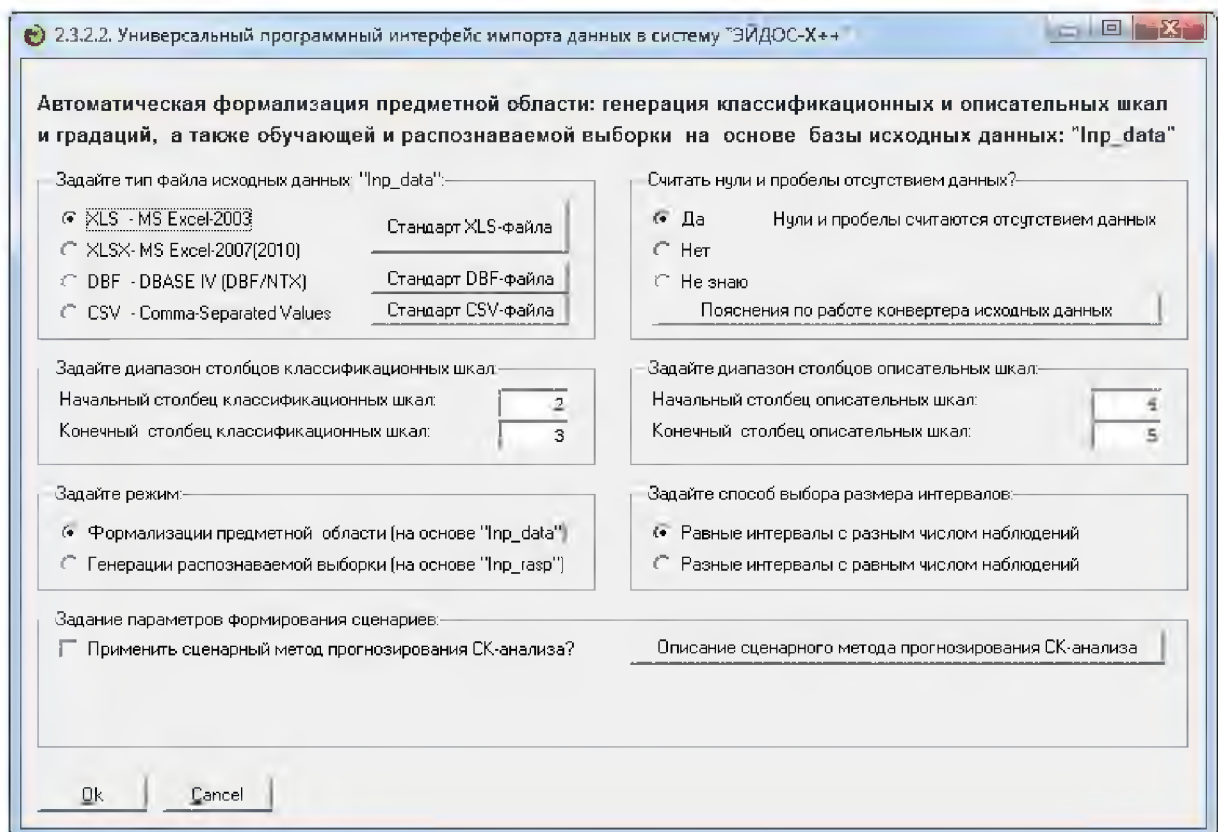


Рисунок 4.4 - Первая экранная форма задания параметров работы универсального программного интерфейса ввода данных

## в систему Эйдос-Х++ из внешних баз данных

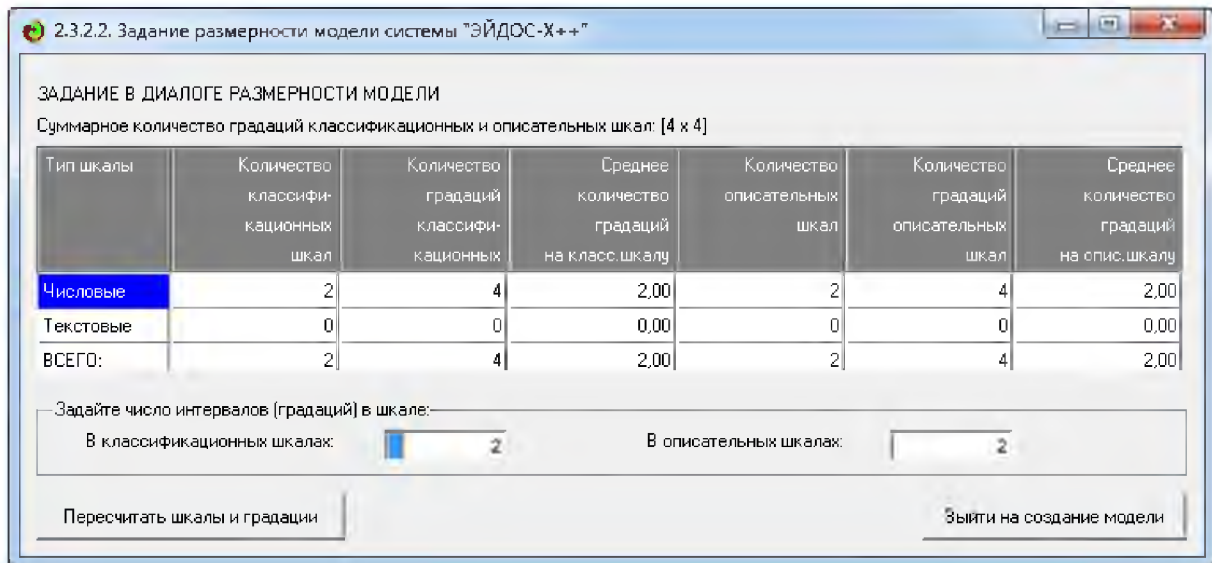


Рисунок 4.5 - Вторая экранная форма задания параметров работы универсального программного интерфейса ввода данных в систему Эйдос-Х++ из внешних баз данных

Как видно из рисунка 6, данный режим на основе исходных данных таблицы 4.5 автоматически формирует классификационные и описательные шкалы и градации и обучающую выборку, т.е. полностью реализует 2-й этап СК-анализа: «Формализация предметной области».

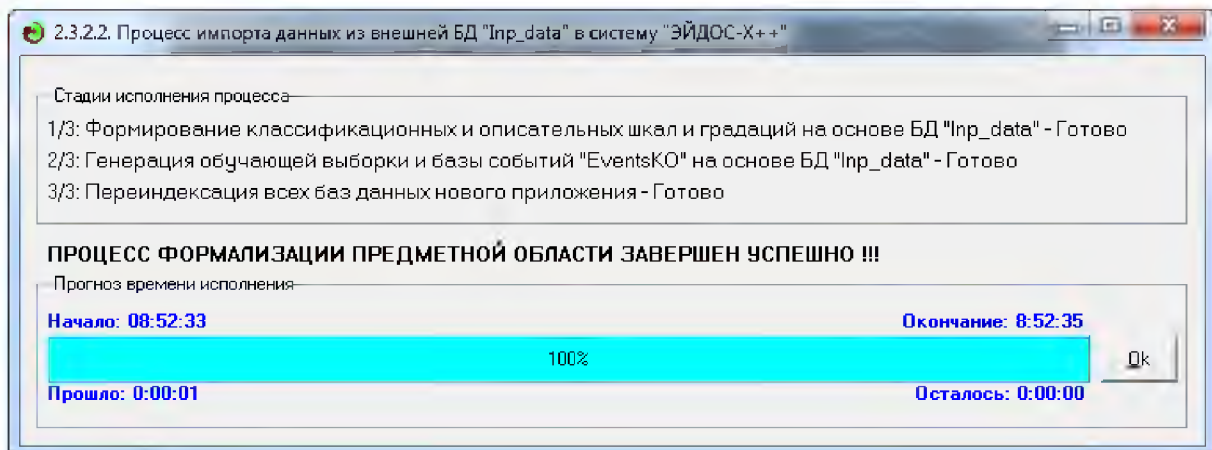


Рисунок 4.6 - Экранная форма отображения стадии работы универсального программного интерфейса ввода данных в систему Эйдос-Х++ из внешних баз данных

Необходимо отметить, что данный программный интерфейс был успешно протестирован на больших обучающих выборках, включающих более 800000 объектов обучающей выборки и позволяет строить модели с сотнями тысяч классов и значений факторов как текстовых (лингвистические переменные), так и числовых. Конечно, может возникнуть вопрос о том, для решения каких задач могут потребоваться такие возможности системы. При



проведении исследований, описанных в работе [17], постоянно ощущалась потребность именно в таких возможностях системы.

Затем выполняется режим 3.5 системы Эйдос-Х++, обеспечивающий синтез и верификацию (заданным способом) всех заданных статистических и интеллектуальных моделей (рисунок 4.7), т.е. реализующий 3-й этап СК-анализа:

На рисунке 4.8 приведена экранная форма отображения стадии исполнения режима 3.5, в которой приведены основные этапы выполнения данного режима (более детально этапы отображаются в процессе исполнения).

В результате работы этих режимов формируются базы моделей, приведенные ниже.

В таблице 6 приведено 2 классификационных шкалы: **A** и **B**, каждая из которых имеет 2 интервальных значения, т.е. 2 градации, соответствующих будущим состояниям объекта управления:

Градации внутри шкал альтернативные, т.е. объект управления не может одновременно находиться в состояниях одной шкалы.

В таблице 4.7 приведено 2 фактора **C** и **D**, каждый из которых имеет два интервальных значения, т.е. 2 градации:

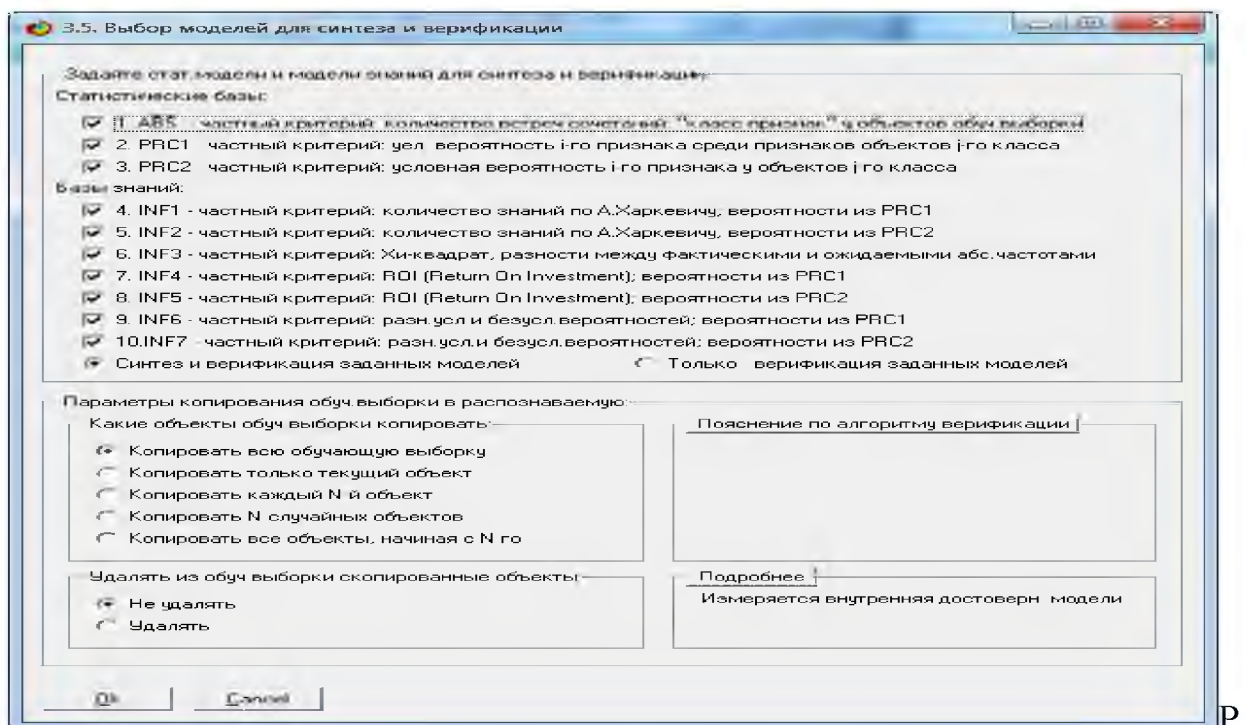


Рисунок 4.7 - Экранная форма режима 3.5 системы Эйдос-Х++, обеспечивающий синтез и верификацию всех заданных статистических и интеллектуальных моделей

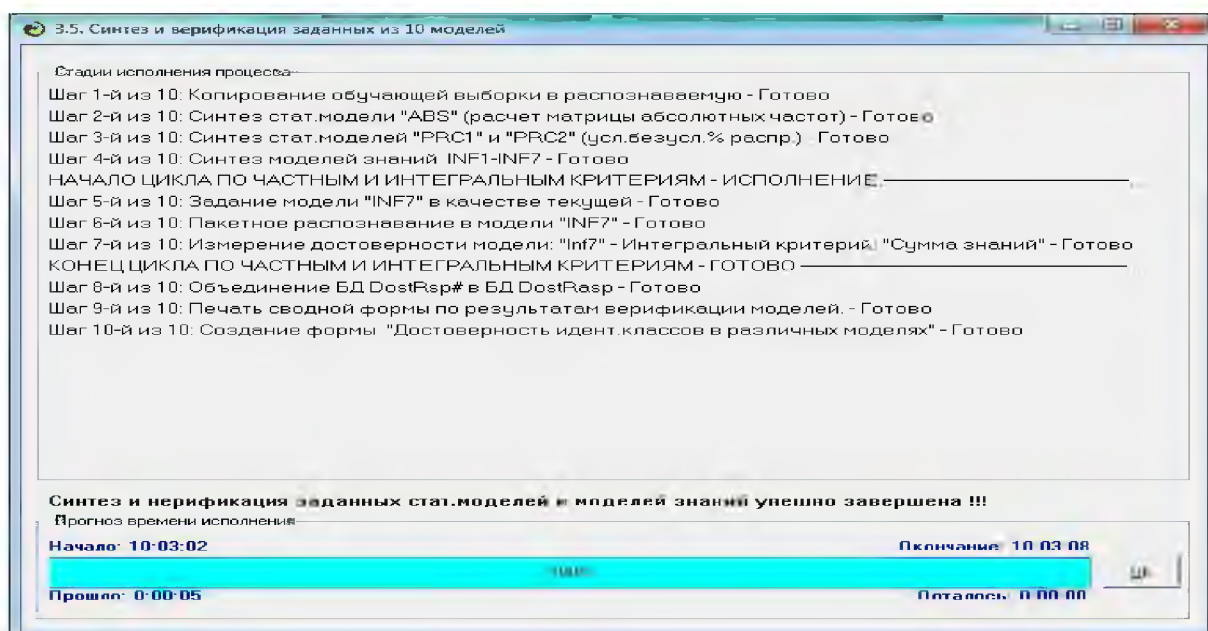


Рисунок 4.8 - Экранная форма отображения стадии исполнения режима синтеза и верификации моделей системы Эйдос-X++

Таблица 4.7 - Будущие состояния объекта управления исходной модели

| Код | Наименование                          |
|-----|---------------------------------------|
| 1   | <b>A</b> -1/2-{-1.0000000, 0.0000000} |
| 2   | <b>A</b> -2/2-{-0.0000000, 1.0000000} |
| 3   | <b>B</b> -1/2-{-0.9848078, 0.0000000} |
| 4   | <b>B</b> -2/2-{-0.0000000, 0.9848078} |

Таблица 1 – Факторы и их значения исходной модели

| Код | Наименование                              |
|-----|-------------------------------------------|
| 1   | <b>C</b> -1/2-{-345.9431619, 597.7643323} |
| 2   | <b>C</b> -2/2-{-597.7643323, 849.5855027} |
| 3   | <b>D</b> -1/2-{-1.0000000, 0.0000000}     |
| 4   | <b>D</b> -2/2-{-0.0000000, 1.0000000}     |

Градации внутри шкал альтернативные, т.е. на объект управления не может одновременно действовать два разных значения одного фактора.

В таблице 2. 8 приведена обучающая выборка, т.е. таблица исходных данных (таблица 2. 5), закодированная с использованием справочников классов и признаков из таблиц 6 и 7. Строки таблицы 8 соответствуют наблюдаемым состояниям объекта управления (объекты обучающей выборки), в которые он перешел под действием различных сочетаний значений факторов.

Таблица 4. 8 – Обучающая выборка исходной модели

| Объект обучающей выборки |              | Коды классов |      | Коды значений факторов |      |
|--------------------------|--------------|--------------|------|------------------------|------|
| Код                      | Наименование | кл.1         | кл.2 | пр.1                   | пр.2 |
| 1                        | 0            | 2            | 3    | 4                      |      |
| 2                        | 10           | 2            | 4    | 1                      | 4    |
| 3                        | 20           | 2            | 4    | 1                      | 4    |
| 4                        | 30           | 2            | 4    | 1                      | 4    |
| 5                        | 40           | 2            | 4    | 1                      | 4    |
| 6                        | 50           | 1            | 3    | 1                      | 3    |
| 7                        | 60           | 1            | 3    | 1                      | 3    |

|    |     |   |   |   |   |
|----|-----|---|---|---|---|
| 8  | 70  | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 9  | 80  | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 10 | 90  | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 11 | 100 | 1 | 4 | 2 | 3 |
| 12 | 110 | 1 | 4 | 2 | 3 |
| 13 | 120 | 1 | 4 | 2 | 3 |
| 14 | 130 | 1 | 4 | 2 | 3 |
| 15 | 140 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| 16 | 150 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| 17 | 160 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| 18 | 170 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| 19 | 180 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| 20 | 190 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| 21 | 200 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| 22 | 210 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| 23 | 220 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| 24 | 230 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 25 | 240 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 26 | 250 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 27 | 260 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 28 | 270 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 29 | 280 | 1 | 4 | 2 | 3 |
| 30 | 290 | 1 | 4 | 2 | 3 |
| 31 | 300 | 1 | 4 | 2 | 3 |
| 32 | 310 | 1 | 4 | 2 | 3 |
| 33 | 320 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| 34 | 330 | 2 | 3 | 2 | 4 |

На основе обучающей выборки была сформирована матрица абсолютных частот (таблица 4.9), а также матрицы условных и безусловных процентных распределений (таблица 4.10) и базы знаний (таблица 4.11).

Таблица 4.9 - Матрица абсолютных частот исходной модели

| Значения факторов |                                       | Коды классов |      |      |      |
|-------------------|---------------------------------------|--------------|------|------|------|
| Код               | Наименование                          | 1-го         | 2-го | 3-го | 4-го |
| 1                 | C-1/2- $\{345.9431619, 597.7643323\}$ | 2            | 4    | 2    | 4    |
| 2                 | C-2/2- $\{597.7643323, 849.5855027\}$ | 16           | 14   | 18   | 12   |
| 3                 | D-1/2- $\{-1.0000000, 0.0000000\}$    | 18           | 0    | 10   | 8    |
| 4                 | D-2/2- $\{0.0000000, 1.0000000\}$     | 0            | 19   | 11   | 8    |
|                   | Сумма числа признаков                 | 36           | 37   | 41   | 32   |
|                   | Сумма числа объектов обуч.выборки     | 18           | 19   | 21   | 16   |

Таблица 4.9 содержит абсолютные частоты, отражающие сколько раз наблюдалось действие определенного значения фактора *в случае*, когда объект управления перешел в определенное состояние, соответствующее классу.

На основе таблицы 4.9 в соответствии с приведенными выше формулами рассчитываются матрицы условных и безусловных процентных распределений (в таблице 4.10 приведена одна из двух матриц):

Таблица 4.10 - Матрица условных и безусловных процентных распределений исходной модели

| Код | Наименование | Условные процентные распределения в группах, соответствующих классам |         |         |         | Процентное распределение по всей |
|-----|--------------|----------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|----------------------------------|
|     |              | 1-й кл.                                                              | 2-й кл. | 3-й кл. | 4-й кл. |                                  |
|     |              |                                                                      |         |         |         |                                  |



|   |                                       |        |        |        |        |                          |
|---|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------------|
|   |                                       |        |        |        |        | выборке<br>(безусловное) |
| 1 | C-1/2- $\{345.9431619, 597.7643323\}$ | 5,556  | 10,811 | 4,878  | 12,500 | 8,219                    |
| 2 | C-2/2- $\{597.7643323, 849.5855027\}$ | 44,444 | 37,838 | 43,902 | 37,500 | 41,096                   |
| 3 | D-1/2- $\{-1.0000000, 0.0000000\}$    | 50,000 | 0,000  | 24,390 | 25,000 | 24,658                   |
| 4 | D-2/2- $\{0.0000000, 1.0000000\}$     | 0,000  | 51,351 | 26,829 | 25,000 | 26,027                   |

На основе таблицы 4.10 или непосредственно на основе таблицы 4.9 рассчитываются базы знаний, одна из которых (Inf1) представлена в таблице 4.11.

Таблица 2.11 - База знаний исходной модели о силе и направлении влияния значений факторов на поведение объекта управления основе модифицированного коэффициента А.Харкевича в миллибитах

| Код | Наименование                          | Сила и направление влияния значений факторов |         |         |         |
|-----|---------------------------------------|----------------------------------------------|---------|---------|---------|
|     |                                       | 1-й кл.                                      | 2-й кл. | 3-й кл. | 4-й кл. |
| 1   | C-1/2- $\{345.9431619, 597.7643323\}$ | -157                                         | 110     | -209    | 168     |
| 2   | C-2/2- $\{597.7643323, 849.5855027\}$ | 31                                           | -33     | 27      | -37     |
| 3   | D-1/2- $\{-1.0000000, 0.0000000\}$    | 284                                          |         | -4      | 6       |
| 4   | D-2/2- $\{0.0000000, 1.0000000\}$     |                                              | 273     | 12      | -16     |

Таблица 2.10 содержит информацию о силе и направлении влияния значений факторов на поведение объекта управления основе модифицированного коэффициента А.Харкевича в битах.

Теперь обобщим данную модель, введя в нее системы значений факторов и системы будущих состояний объекта управления. Рассмотрим простейший вариант, когда эти системы включают всего по два значения факторов и по два простых будущих состояния. Но система Эйдос-Х++ позволяет моделировать поведение сложных объектов управления, включающих сотни тысяч будущих состояний и сотни тысяч значений факторов (база знаний, аналогичная приведенной в таблице 10, занимает при такой размерности модели около 240 Гб)<sup>108</sup>. Ранее существовавшие ограничения на размерность модели и размеры баз данных [4, 5] полностью преодолены в системе Эйдос-Х++, в чем и состоит одна из причин ее разработки. Ограничение на размерность баз данных накладываются только емкостью внешней памяти и вычислительной мощностью компьютера. Рассмотрим проявление нелинейности объекта управления и моделирование этой нелинейности в интеллектуальных моделях сравним базы знаний в исходной и обобщенной моделях.

**Приведем таблицы обобщенной модели (таблицы 4.12-2.17).**

Чтобы получить после выполнения режима 2.3.2.2 ввода данных из внешних баз данных перед режимом синтезом и верификацией моделей в режиме 3.5 выполняются последовательно еще два режима 3.7.7 и 3.7.8,

<sup>108</sup> Время создания такой базы на современном персональном компьютере с процессором I7 на обычном винчестере составляет около 30 минут. Отметим, что количество нечетких продукций с расчетной на основе эмпирических данных степенью истинности оставляет 10 миллиардов, тогда как максимальное количество классических продукций с двумя вариантами истинности: .Т., .F. (которые еще должен сообщить эксперт) по литературным данным ([http://itmu.vsuet.ru/Posobija/Predstavlenie\\_znan/htm/2\\_t.htm](http://itmu.vsuet.ru/Posobija/Predstavlenie_znan/htm/2_t.htm)) для экспертных систем составляет 1000-10000, т.е. в миллион (!) или даже 10 миллионов раз меньше.

обеспечивающие формирование систем классов и значений факторов (рисунки 4.9 и 4.10).

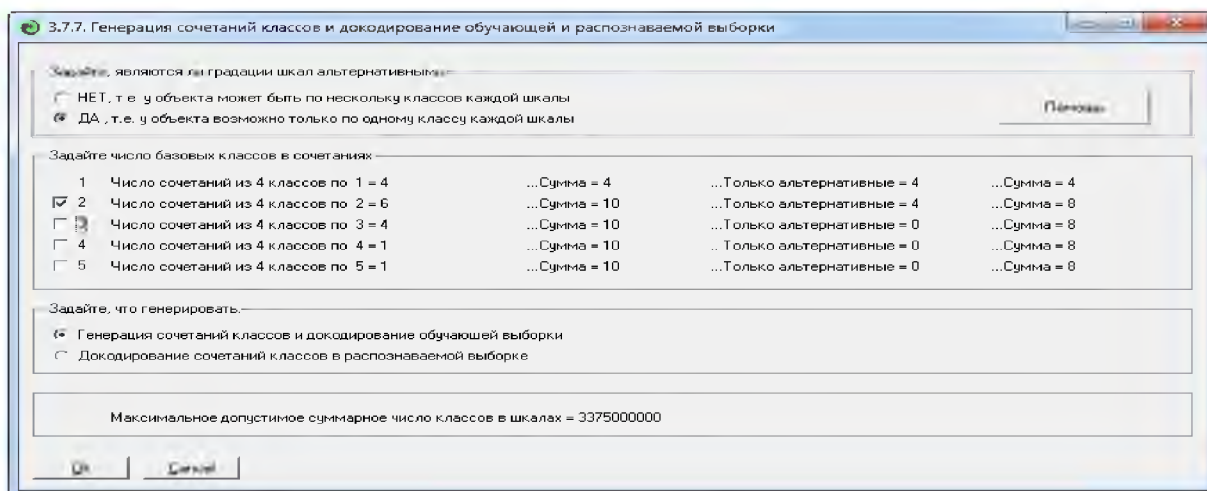


Рисунок 4.1 Экранная форма режима формирования сочетаний классов и декодирования обучающей выборки системы Эйдос-X++

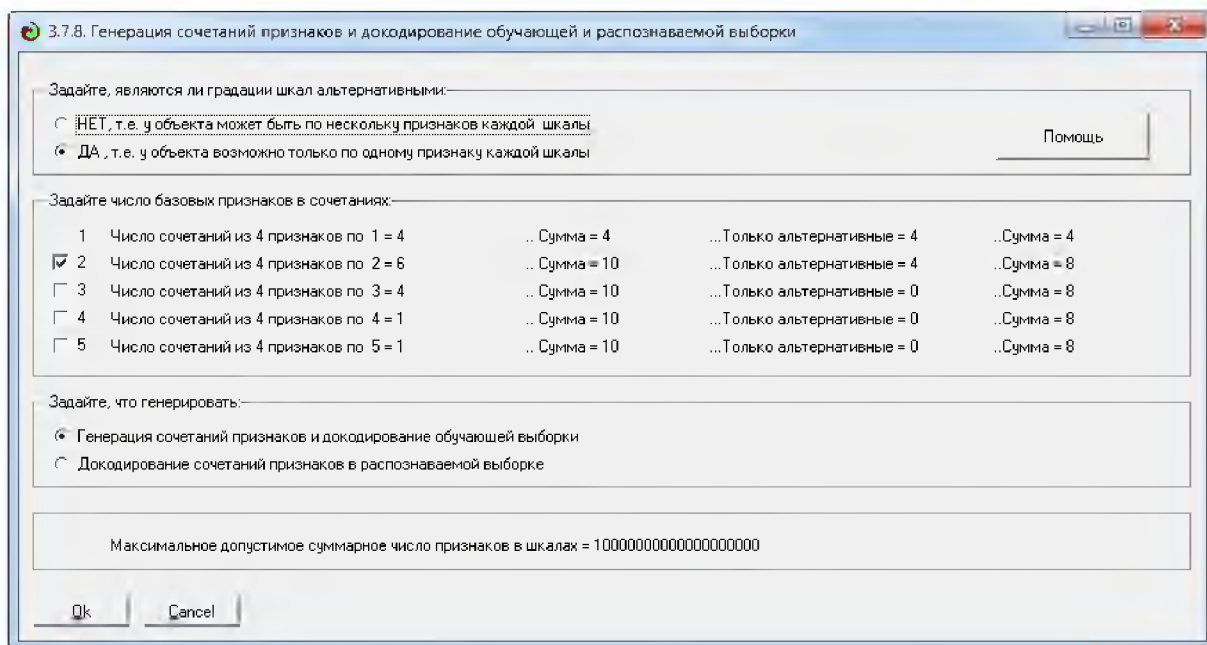


Рисунок 4.2 - Экранная форма режима формирования сочетаний значений факторов и декодирования обучающей выборки системы Эйдос-X++

В результате выполнения этих режимов аналогично исходной модели формируются следующие базы данных обобщенной модели:

Таблица 4. 2 – Будущие состояния объекта управления обобщенной модели

| Код | Наименование                               |
|-----|--------------------------------------------|
| 1   | A-1/2-{-1.0000000, 0.0000000}              |
| 2   | A-2/2-{0.0000000, 1.0000000}               |
| 3   | B-1/2-{-0.9848078, 0.0000000}              |
| 4   | B-2/2-{0.0000000, 0.9848078}               |
| 5   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КЛАССОВ-1,3 |
| 6   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КЛАССОВ-1,4 |
| 7   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КЛАССОВ-2,3 |
| 8   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КЛАССОВ-2,4 |

Таблица 4.3 – Факторы и их значения обобщенной модели

| Код | Наименование                                 |
|-----|----------------------------------------------|
| 1   | C-1/2- $\{345.9431619, 597.7643323\}$        |
| 2   | C-2/2- $\{597.7643323, 849.5855027\}$        |
| 3   | D-1/2- $\{-1.0000000, 0.0000000\}$           |
| 4   | D-2/2- $\{0.0000000, 1.0000000\}$            |
| 5   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,3 |
| 6   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,4 |
| 7   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,3 |
| 8   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,4 |

Таблица 4.4 – Обучающая выборка обобщенной модели

| Объект обучающей выборки |              | Коды классов |      |      | Коды значений факторов |      |      |
|--------------------------|--------------|--------------|------|------|------------------------|------|------|
| Код                      | Наименование | Кл.1         | Кл.2 | Кл.3 | Пр.1                   | Пр.2 | Пр.3 |
| 1                        | 0            | 2            | 3    | 7    | 4                      |      |      |
| 2                        | 10           | 2            | 4    | 8    | 1                      | 4    | 6    |
| 3                        | 20           | 2            | 4    | 8    | 1                      | 4    | 6    |
| 4                        | 30           | 2            | 4    | 8    | 1                      | 4    | 6    |
| 5                        | 40           | 2            | 4    | 8    | 1                      | 4    | 6    |
| 6                        | 50           | 1            | 3    | 5    | 1                      | 3    | 5    |
| 7                        | 60           | 1            | 3    | 5    | 1                      | 3    | 5    |
| 8                        | 70           | 1            | 3    | 5    | 2                      | 3    | 7    |
| 9                        | 80           | 1            | 3    | 5    | 2                      | 3    | 7    |
| 10                       | 90           | 1            | 3    | 5    | 2                      | 3    | 7    |
| 11                       | 100          | 1            | 4    | 6    | 2                      | 3    | 7    |
| 12                       | 110          | 1            | 4    | 6    | 2                      | 3    | 7    |
| 13                       | 120          | 1            | 4    | 6    | 2                      | 3    | 7    |
| 14                       | 130          | 1            | 4    | 6    | 2                      | 3    | 7    |
| 15                       | 140          | 2            | 3    | 7    | 2                      | 4    | 8    |
| 16                       | 150          | 2            | 3    | 7    | 2                      | 4    | 8    |
| 17                       | 160          | 2            | 3    | 7    | 2                      | 4    | 8    |
| 18                       | 170          | 2            | 3    | 7    | 2                      | 4    | 8    |
| 19                       | 180          | 2            | 3    | 7    | 2                      | 4    | 8    |
| 20                       | 190          | 2            | 4    | 8    | 2                      | 4    | 8    |
| 21                       | 200          | 2            | 4    | 8    | 2                      | 4    | 8    |
| 22                       | 210          | 2            | 4    | 8    | 2                      | 4    | 8    |
| 23                       | 220          | 2            | 4    | 8    | 2                      | 4    | 8    |
| 24                       | 230          | 1            | 3    | 5    | 2                      | 3    | 7    |
| 25                       | 240          | 1            | 3    | 5    | 2                      | 3    | 7    |
| 26                       | 250          | 1            | 3    | 5    | 2                      | 3    | 7    |
| 27                       | 260          | 1            | 3    | 5    | 2                      | 3    | 7    |
| 28                       | 270          | 1            | 3    | 5    | 2                      | 3    | 7    |
| 29                       | 280          | 1            | 4    | 6    | 2                      | 3    | 7    |
| 30                       | 290          | 1            | 4    | 6    | 2                      | 3    | 7    |
| 31                       | 300          | 1            | 4    | 6    | 2                      | 3    | 7    |
| 32                       | 310          | 1            | 4    | 6    | 2                      | 3    | 7    |
| 33                       | 320          | 2            | 3    | 7    | 2                      | 4    | 8    |
| 34                       | 330          | 2            | 3    | 7    | 2                      | 4    | 8    |
| 35                       | 340          | 2            | 3    | 7    | 2                      | 4    | 8    |
| 36                       | 350          | 2            | 3    | 7    | 2                      | 4    | 8    |
| 37                       | 360          | 2            | 3    | 7    | 2                      | 4    | 8    |

Таблица 4.5 – Матрица абсолютных частот обобщенной модели

| Значения факторов |              | Коды классов |      |      |      |         |         |         |         |
|-------------------|--------------|--------------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|
| Код               | Наименование | 1-го         | 2-го | 3-го | 4-го | 5-го:   | 6-го:   | 7-го:   | 8-го:   |
|                   |              | го           | го   | го   | го   | го: 1,3 | го: 1,4 | го: 2,3 | го: 2,4 |

|   |                                              |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|----------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | C-1/2-{\345.9431619, 597.7643323}            | 2  | 4  | 2  | 4  | 2  | 0  | 0  | 4  |
| 2 | C-2/2-{\597.7643323, 849.5855027}            | 16 | 14 | 18 | 12 | 8  | 8  | 10 | 4  |
| 3 | D-1/2-{-1.0000000, 0.0000000}                | 18 | 0  | 10 | 8  | 10 | 8  | 0  | 0  |
| 4 | D-2/2-{\0.0000000, 1.0000000}                | 0  | 19 | 11 | 8  | 0  | 0  | 11 | 8  |
| 5 | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,3 | 2  | 0  | 2  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  |
| 6 | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,4 | 0  | 4  | 0  | 4  | 0  | 0  | 0  | 4  |
| 7 | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,3 | 16 | 0  | 8  | 8  | 8  | 8  | 0  | 0  |
| 8 | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,4 | 0  | 14 | 10 | 4  | 0  | 0  | 10 | 4  |
| 0 | Сумма числа признаков                        | 54 | 55 | 61 | 48 | 30 | 24 | 31 | 24 |
| 0 | Сумма числа объектов обуч. выборки           | 18 | 19 | 21 | 16 | 10 | 8  | 11 | 8  |

Таблица 4.16 – Матрица условных и безусловных процентных распределений обобщенной модели

| Код | Наименование                                 | Условные процентные распределения в группах, соответствующих классам |      |      |      |           |           |           |           | Процентное распределение по всей выборке (безусловное) |
|-----|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------|------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------------------------------|
|     |                                              | 1-го                                                                 | 2-го | 3-го | 4-го | 5-го: 1,3 | 6-го: 1,4 | 7-го: 2,3 | 8-го: 2,4 |                                                        |
| 1   | C-1/2-{\345.9431619, 597.7643323}            | 3,7                                                                  | 7,3  | 3,3  | 8,3  | 6,7       | 0,0       | 0,0       | 16,7      | 5,5                                                    |
| 2   | C-2/2-{\597.7643323, 849.5855027}            | 29,6                                                                 | 25,5 | 29,5 | 25,0 | 26,7      | 33,3      | 32,3      | 16,7      | 27,5                                                   |
| 3   | D-1/2-{-1.0000000, 0.0000000}                | 33,3                                                                 | 0,0  | 16,4 | 16,7 | 33,3      | 33,3      | 0,0       | 0,0       | 16,5                                                   |
| 4   | D-2/2-{\0.0000000, 1.0000000}                | 0,0                                                                  | 34,5 | 18,0 | 16,7 | 0,0       | 0,0       | 35,5      | 33,3      | 17,4                                                   |
| 5   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,3 | 3,7                                                                  | 0,0  | 3,3  | 0,0  | 6,7       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 1,8                                                    |
| 6   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,4 | 0,0                                                                  | 7,3  | 0,0  | 8,3  | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 16,7      | 3,7                                                    |
| 7   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,3 | 29,6                                                                 | 0,0  | 13,1 | 16,7 | 26,7      | 33,3      | 0,0       | 0,0       | 14,7                                                   |
| 8   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,4 | 0,0                                                                  | 25,5 | 16,4 | 8,3  | 0,0       | 0,0       | 32,3      | 16,7      | 12,8                                                   |

Таблица 4.17 – База знаний обобщенной модели о силе и направлении влияния значений факторов на поведение объекта управления основе модифицированного коэффициента А.Харкевича в миллибитах

| Код | Наименование                                 | Сила и направление влияния значений факторов |      |      |      |           |           |           |           |
|-----|----------------------------------------------|----------------------------------------------|------|------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|     |                                              | 1-го                                         | 2-го | 3-го | 4-го | 5-го: 1,3 | 6-го: 1,4 | 7-го: 2,3 | 8-го: 2,4 |
| 1   | C-1/2-{\345.9431619, 597.7643323}            | -205                                         | 144  | -268 | 215  | 99        |           |           | 574       |
| 2   | C-2/2-{\597.7643323, 849.5855027}            | 38                                           | -40  | 36   | -50  | -16       | 99        | 82        | -260      |
| 3   | D-1/2-{-1.0000000, 0.0000000}                | 364                                          |      | -4   | 5    | 364       | 364       |           |           |
| 4   | D-2/2-{\0.0000000, 1.0000000}                |                                              | 354  | 18   | -23  |           |           | 368       | 336       |
| 5   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,3 | 364                                          |      | 301  |      | 668       |           |           |           |
| 6   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,4 |                                              | 354  |      | 425  |           |           |           | 784       |
| 7   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,3 | 364                                          |      | -58  | 66   | 309       | 425       |           |           |
| 8   | ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,4 |                                              | 354  | 126  | -224 |           |           | 477       | 135       |

### **Проведем сравнение исходной и обобщенной моделей.**

**Сочетанные факторы** моделируют одновременное воздействие на объект управления нескольких не альтернативных факторов, т.е. позволяют отразить в модели сложный многопараметрический характер объекта управления.

**Сочетанные классы** моделируют одновременный переход объекта управления сразу в несколько не альтернативных состояний, т.е. пользуясь аналогией с квантовой механикой [6, 18] – переход в смешанное состояние. Сочетанные классы встречаются не чаще, чем простые исходные, из которых они состоят.

Вспомним определение линейного объекта управления: это такой объект, что при влиянии на который совокупности факторов<sup>109</sup> их совместное влияние на выходные параметры этого объекта является суммой влияний каждого из этих факторов в отдельности.

Одного взгляда на таблицу 17 достаточно, чтобы убедиться, что для нашего объекта управления это не так, т.е. он является нелинейным и модель СК-анализа обеспечивает моделирование его нелинейности.

#### **Приведем некоторые примеры:**

– 1-е значение фактора препятствует переходу объекта управления в 1-е и 3-е состояния, но слабо способствует одновременному его переходу в эти состояния, т.е. в состояние 5;

– 1-е значение фактора способствует переходу объекта управления во 2-е и 4-е состояния и сильно способствует одновременному его переходу в эти состояния, т.е. в состояние 8;

– 1-е и 3-е значения факторов, действующие одновременно, т.е. 5-е сочетанное значение фактора, сильно способствуют переходу объекта управления в 5-е сочетанное состояние, переходу в которое способствуют, но не на столько сильно и отдельно действующие 1-е и 3-е значения факторов, *но сила их совместного влияния не равна сумме сил влияния составляющих значений факторов по отдельности:  $99+364=463 < 668$ , т.е. сумма раздельного влияния значений факторов меньше силы их совместно влияния;*

– 2-е и 3-е значения факторов, действующие одновременно, т.е. 7-е сочетанное значение фактора, сильно способствуют переходу объекта управления в 6-е сочетанное состояние, переходу в которое способствуют, но не на столько сильно и отдельно действующие 2-е и 3-е значения факторов, *но сила их совместного влияния не равна сумме сил влияния каждого из них по отдельности:  $99+364=463 > 425$  и эта сумма силы влияния отдельно действующих факторов больше силы их совместно влияния на этот переход.*

#### **Выводы**

Рассмотрено применение Системно-когнитивного анализа и интеллектуальной системы «Эйдос-Х++» для создания моделей сложных

---

<sup>109</sup> Не системы, а именно совокупности, т.к. факторы не взаимодействуют друг с другом внутри линейного объекта управления

многофакторных нелинейных объектов управления на основе зашумленных фрагментированных эмпирических данных большой размерности и для применения этих моделей для решения задач прогнозирования, принятия управляющих решений и исследования моделируемых объектов. Сформулировано системное обобщение принципа Эшби (для нелинейных систем). Приведен численный пример исследования абстрактной нелинейной системы (фигуры Лиссажу), в которой совместное влияние нескольких факторов не является суммой влияний каждого из этих факторов по отдельности, что говорит о невыполнении для этих факторов принципа суперпозиции и нелинейных эффектах в рассматриваемой системе. Показано, что предлагаемый аппарат и программный инструментарий позволяют успешно моделировать подобные системы. Отметим, что предлагаемый аппарат и инструментарий позволяют интерпретировать одни классификационные шкалы, как прогнозируемые географические координаты событий, а другие, как прогнозируемые события и степень их выраженности, что позволяет получить картографическую визуализацию результатов распознавания места и времени событий.

## 5 Лекция-5 Теоретические основы Автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ)

### 2.5.1 Формализуемая когнитивная концепция и когнитивный конфигуратор

В данном разделе приводится когнитивная концепция, разработанная автором исследования в 1996 году [125], с учетом двух основных требований:

1. Адекватное отражение в когнитивной концепции реальных процессов, реализуемых человеком в процессах познания.

2. Высокая степень приспособленности когнитивной концепции для формализации в виде достаточно простых математических и алгоритмических моделей, допускающих прозрачную программную реализацию в автоматизированной системе.

#### ***2.5.1.1 Понятие когнитивного конфигулятора и необходимость естественнонаучной (формализуемой) когнитивной концепции***

##### *2.5.1.1.1 Определение понятия конфигулятора*

Понятие конфигулятора, по-видимому, впервые предложено В.А.Лефевром [194], хотя безусловно это понятие использовалось и раньше, но, во-первых, оно не получало самостоятельного названия, а, во-вторых, использовалось в частных случаях и не получало обобщения. *Под конфигулятором В.А.Лефевр понимал минимальный полный набор понятийных шкал или конструкторов, достаточный для адекватного описания предметной области.* Примеры конфигуляторов приведены в [194].

##### *2.5.1.1.2 Понятие когнитивного конфигулятора*

В исследованиях по когнитивной психологии изучается значительное количество различных операций, связанных с процессом познания. Однако, насколько известно из литературы, психологами не ставился вопрос о выделении из всего множества когнитивных операций такого минимального (базового) набора наиболее элементарных из них, из которых как составные могли бы строиться другие операции. Ясно, что для выделения таких базовых когнитивных операций (БКО) необходимо построить их иерархическую систему, в фундаменте которой будут находиться наиболее элементарные из них, на втором уровне – производные от них, обладающие более высоким уровнем интегративности, и т.д.

Таким образом, ***под когнитивным конфигулятором будем понимать минимальный полный набор базовых когнитивных операций, достаточный для представления различных процессов познания.***

##### *2.5.1.1.3 Когнитивные концепции и операции*

Проведенный анализ когнитивных концепций показал, что они разрабатывались ведущими психологами (Пиаже, Солсо, Найсер) без учета



требований, связанных с их дальнейшей формализацией и автоматизацией. Поэтому имеющиеся концепции когнитивной психологии слабо подходят для этой цели; в когнитивной психологии не ставилась и не решалась задача конструирования когнитивного конфигулятора и, соответственно, не сформулировано понятие базовой когнитивной операции.

### ***2.5.1.2 Предлагаемая когнитивная концепция***

Автоматизировать процесс познания в целом безусловно значительно сложнее, чем отдельные операции процесса познания. Но для этого прежде всего необходимо выявить эти операции и найти место каждой из них в системе или последовательности процесса познания.

Сделать это предлагается в форме когнитивной концепции, которая должна удовлетворять следующим *требованиям*:

- адекватность, т.е. точное отражение сущности процессов познания, характерных для человека, в частности описание процессов вербализации, семантической адаптации и семантического синтеза (уточнения смысла слов и понятий и включения в словарь новых слов и понятий);

- высокая степень детализации и структурированности до уровня достаточно простых базовых когнитивных операций;

- возможность математического описания, формализации и автоматизации.

Однако приходится констатировать, что даже концепции когнитивной психологии, значительно более конкретные, чем гносеологические, разрабатывались без учета необходимости построения реализующих их математических и алгоритмических моделей и программных систем. Более того, в когнитивной психологии из всего многообразия различных исследуемых когнитивных операций не выделены базовые, к суперпозиции и различным вариантам сочетаний которых сводятся различные процессы познания. Поэтому *для достижения целей данного исследования* концепции когнитивной психологии мало применимы.

В связи с этим в данном исследовании предлагается когнитивная концепция, удовлетворяющая сформулированным выше требованиям. Эта концепция достаточно проста, иначе было бы невозможно ее формализовать, многие ее положения интуитивно очевидны или хорошо известны, тем не менее в целостном виде она сформулирована лишь в работе [81]. Положения когнитивной концепции приведены в определенном порядке, соответствующем реальному ходу процесса познания "от конкретных эмпирических исходных данных к содержательным информационным моделям, а затем к их верификации, адаптации и, в случае необходимости, к пересинтезу".

На базе выше сформулированных положений автором предложена целостная система взглядов на процесс познания, т.е. **когнитивная концепция** [81] (рисунок 2. 12).

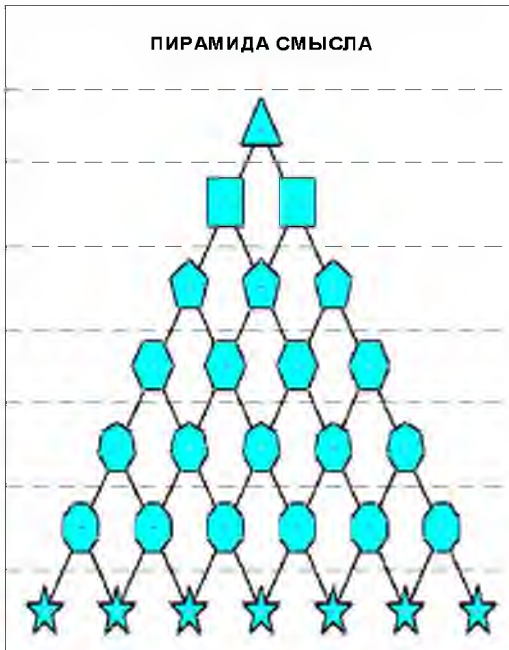
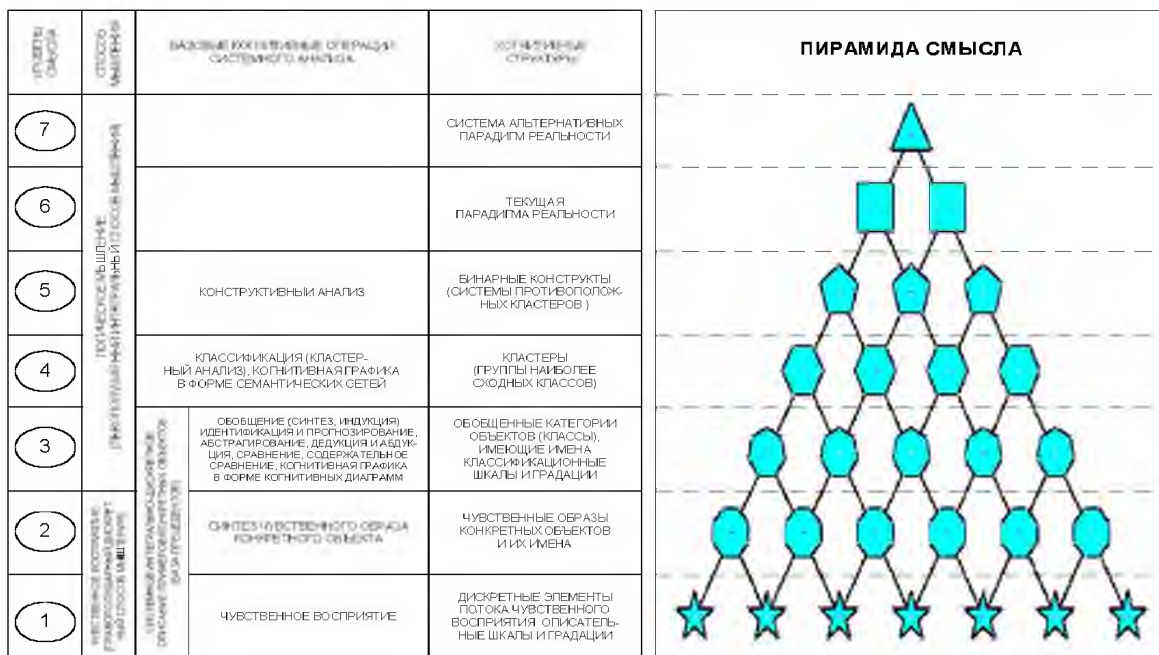


Рисунок 5.1 - Обобщенная схема предлагаемой когнитивной концепции

Суть предложенной когнитивной концепции состоит в том, что процесс познания рассматривается как многоуровневая иерархическая система обработки информации, в которой каждый последующий уровень является результатом интеграции элементов предыдущего уровня. На 1-м уровне этой системы находятся дискретные элементы потока чувственного восприятия, которые на 2-м уровне интегрируются в чувственный образ конкретного объекта. Те, в свою очередь, на 3-м уровне интегрируются в обобщенные образы классов и факторов, образующие на 4-м уровне кластеры, а на 5-м конструкты. Система конструктов на 6-м уровне образуют текущую парадигму реальности (т.е. человек познает мир путем синтеза и применения конструктов). На 7-м же уровне обнаруживается, что текущая парадигма не является единственно-возможной.

Ключевым для когнитивной концепции является понятие **факта**, под которым понимается соответствие дискретного и интегрального элементов познания (т.е. элементов разных уровней интеграции-иерархии), обнаруженное на опыте. Факт рассматривается как квант смысла, что является основой для его формализации. Таким образом, происхождение смысла связывается со своего рода "*разностью потенциалов*", существующей между смежными уровнями интеграции-иерархии обработки информации в процессах познания.

1. Процесс познания начинается с чувственного восприятия. Различные органы восприятия дают качественно-различную чувственную информацию в форме дискретного потока *элементов восприятия*. Эти элементы формализуются с помощью описательных шкал и градаций.

2. В процессе накопления опыта выявляются взаимосвязи между элементами чувственного восприятия: одни элементы часто наблюдаются с другими (имеет место их пространственно-временная корреляция), другие же вместе встречаются достаточно редко. Существование устойчивых связей

между элементами восприятия говорит о том, что они отражают некую реальность, *интегральную* по отношению к этим элементам. Эту реальность будем называть объектами восприятия. Рассматриваемые в *единстве* с объектами элементы восприятия будем называть *признаками* объектов. Таким образом, органы восприятия дают чувственную информацию о признаках наблюдаемых объектов, процессов и явлений окружающего мира (объектов). Чувственный образ конкретного объекта представляет собой систему, возникающую как результат *процесса* синтеза признаков этого объекта. В условиях усложненного восприятия синтез чувственного образа объекта может быть существенно замедленным и даже не завершаться в реальном времени.

3. Человек присваивает конкретным объектам названия (имена) и сравнивает объекты друг с другом. При сравнении выясняется, что одни объекты в различных степенях сходны по их признакам, а другие отличаются. Сходные объекты объединяются в обобщенные категории (классы), которым присваиваются имена, производные от имен входящих в категорию конкретных объектов. Классы формализуются с помощью классификационных шкал и градаций и обеспечивают интегральный способ описания действительности. Путем обобщения (синтеза, индукции) информации о признаках конкретных объектов, входящих в те или иные классы, формируются обобщенные образы классов. Накопление опыта и сравнение обобщенных образов классов друг с другом позволяет определить степень характерности признаков для классов, смысл признаков и ценность каждого признака для идентификации конкретных объектов с классами и сравнения классов, а также исключить наименее ценные признаки из дальнейшего анализа без существенного сокращения количества полезной информации о предметной области (абстрагирование). Абстрагирование позволяет существенно сократить затраты внутренних ресурсов системы на анализ информации. Идентификация представляет собой процесс узнавания, т.е. установление соответствия между чувственным описанием объекта, как совокупности дискретных признаков, и неделимым (целостным) именем класса, которое ассоциируется с местом и ролью воспринимаемого объекта в природе и обществе. Дискретное и целостное восприятие действительности поддерживаются как правило различными полушариями мозга: соответственно, правым и левым (доминантность полушарий). Таким образом именно *системное* взаимодействие интегрального (целостного) и дискретного способов восприятия обеспечивает возможность установление *содержательного смысла* событий. При выполнении когнитивной операции "*содержательное сравнение*" двух классов определяется вклад каждого признака в их сходство или различие.

4. После идентификации уникальных объектов с классами возможна их классификация и присвоение *обобщающих имен* группам похожих классов. Для обозначения группы похожих классов используем понятие "*кластер*". Но и сами кластеры в результате выполнения когнитивной операции "*генерация кон-структов*" могут быть классифицированы по степени сходства друг с

другом. Для обозначения системы двух противоположных кластеров, с "спектром" промежуточных кластеров между ними, будем использовать термин "*бинарный конструкт*", при этом сами противоположные кластеры будем называть "*полюса бинарного конструкта*". Бинарные конструкты классов и атрибутов, т.е. конструкты с двумя полюсами, наиболее типичны для чело-века и представляет собой когнитивные структуры, играющие огромную роль в процессах познания. Достаточно сказать, что *познание можно рассматривать как процесс генерации, совершенствования и применения конструктов*. Качество конструкта тем выше, чем сильнее отличаются его полюса, т.е. чем больше диапазон его смысла.

Результаты идентификации и прогнозирования, осуществленные с помощью модели, путем выполнения когнитивной операции "**верификация**" сопоставляются с опытом, после чего определяется целесообразность выполнения когнитивной операции "**обучение**". При этом может возникнуть три основных варианта, которые на рисунке 5.2 обозначены цифрами:

1. Объект, входит в обучающую выборку и достоверно идентифицируется (внутренняя валидность, в адаптации нет необходимости).

2. Объект, не входит в обучающую выборку, но входит в исходную генеральную совокупность, по отношению к которой эта выборка репрезентативна, и достоверно идентифицируется (внешняя валидность, добавление объекта к обучающей выборке и адаптация модели приводит к количественному уточнению смысла признаков и образов классов).

3. Объект не входит в исходную генеральную совокупность и идентифицируется недостоверно (внешняя валидность, добавление объекта к обучающей выборке и синтез модели приводит к качественному уточнению смысла признаков и образов классов, исходная генеральная совокупность расширяется).

**К ПОЯСНЕНИЮ ПОНЯТИЙ: "АДАПТАЦИЯ И СИНТЕЗ МОДЕЛИ";  
"ВНУТРЕННЯЯ И ВНЕШНЯЯ ВАЛИДНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ"**

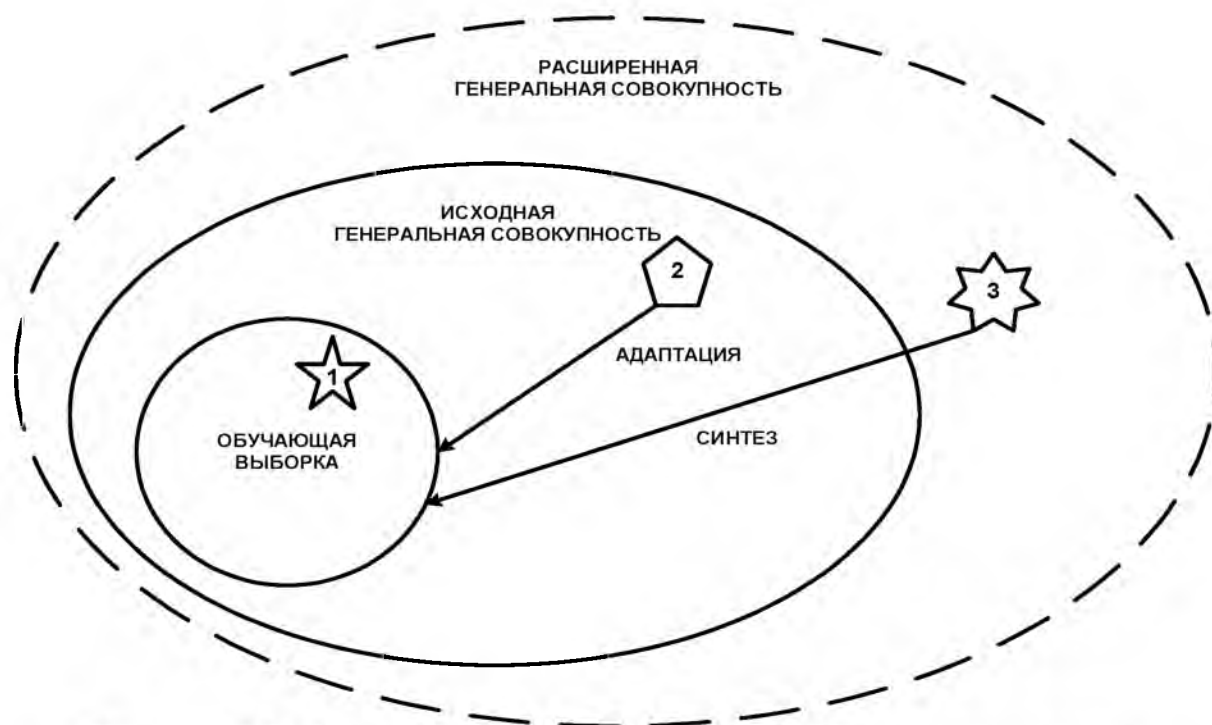


Рисунок 5.2 - К пояснению смысла понятий: "Адаптация и синтез когнитивной модели предметной области", "Внутренняя и внешняя валидность информационной модели",

### 2.5.1.3. Когнитивный конфигуратор и базовые когнитивные операции системного анализа

Таким образом, из предложенной когнитивной концепции вытекает существование, по крайней мере, 10 базовых когнитивных операций системного анализа (БКОСА) (таблица 2. 4):

Таблица 5.1 - ОБОБЩЕННЫЙ СПИСОК БКОСА  
(КОГНИТИВНЫЙ КОНФИГУРАТОР)

| № п/п | Код БКОСА по схеме АСК-анализа | Полное наименование БКОСА                                                              |
|-------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.    | 1.                             | Присвоение имен классам и атрибутам (интенциональная и экстенциональная репрезентация) |
| 2.    | 2.                             | Восприятие                                                                             |
| 3.    | 3.                             | Обобщение (синтез, индукция)                                                           |
| 4.    | 4.                             | Абстрагирование классов и атрибутов                                                    |
| 5.    | 5.                             | Оценка адекватности модели                                                             |
| 6.    | 7.                             | Сравнение, идентификация и прогнозирование                                             |
| 7.    | 9.                             | Анализ (дедукция и абдукция) классов и атрибутов                                       |
| 8.    | 10.1, 10.2.                    | Классификация и генерация конструкторов классов и атрибутов                            |
| 9.    | 10.3, 10.4.                    | Содержательное сравнение классов и атрибутов                                           |
| 10.   | 11.                            | Планирование и принятие решений о применении системы управляющих факторов              |

Необходимо отметить, что классификация операций системного анализа по В.М.Казиеву [81] ближе всего к позиции, излагаемой в данной

работе, т.к. этим автором названы 6 из 10 базовых когнитивных операций системного анализа: формализация; синтез (индукция); абстрагирование; анализ (дедукция); распознавание, и идентификация образов; классификация. Вместе с тем им не приводятся математическая модель, алгоритмы и инструментарий реализации этих операций и не ставится задача их разработки, кроме того некоторые из них приведены дважды под разными названиями, например: анализ и синтез это *тоже самое*, что дедукция и индукция (таблица 4).

Необходимо также отметить, что по-видимому, впервые идея сведения мышления и процессов познания к когнитивным операциям была четко и осознанно сформулирована в письменном виде в V веке до н.э.: *"Сущность интеллекта про-является в способностях обобщения, абстрагирования, срав-нения и классификации"* (цит.по пам., Патанжали, Йога-Сутра, авт.).

Познание предметной области с одной стороны безусловно является **фундаментом**, на котором строится все грандиозное здание системного анализа, а с другой стороны, процессы познания являются **связующим звеном**, органично объединяющим "блоки" принципов и методов системного анализа в стройное здание. Более того, процессы познания буквально пронизывают все методы и принципы системного анализа, входя в них как один из самых существенных элементов.

Однако, на этом основании неверным будет представлять, что когнитивные операции являются подмножеством понятия "системный анализ", скорее наоборот: *системный анализ представляет собой один из теоретических методов познания, представимый в форме определенной последовательности когнитивных операций, тогда как другие последовательности этих операций позволяют образовать другие формы теоретического познания.*

## 2.5.2 Математическая модель АСК-анализа, основанная на системном обобщении теории информации

### Учебные вопросы

1. Программа системного обобщения математики и предпосылки системной теории информации
2. Теоретические основы системной теории информации.
3. Семантическая информационная модель АСК-анализа.
4. Некоторые свойства математической модели (сходимость, адекватность, устойчивость и др.).
5. Взаимосвязь математической модели АСК-анализа с другими моделями.

### 2.5.2.1 Программа системного обобщения математики и предпосылки системной теории информации

Дадим определение понятия «система» классическим способом, т.е. путем его подведения под более общее понятие «множество» и выделение специфических признаков. Система представляет собой множество

элементов, объединенных в целое за счет взаимодействия элементов друг с другом, т.е. за счет отношений между ними, и обеспечивающая преимущества в достижении целей. Преимущества в достижении целей обеспечиваются за счет системного эффекта. Системный эффект состоит в том, что свойства системы не сводятся к сумме свойств ее элементов, т.е. система как целое обладает рядом новых, т.е. эмерджентных свойств, которых не было у ее элементов. Уровень системности тем выше, чем выше интенсивность взаимодействия элементов системы друг с другом, чем сильнее отличаются свойства системы от свойств входящих в нее элементов, т.е. чем выше системный эффект, тем значительнее отличается система от множества. Элементы взаимодействуют (вступают в отношения) друг с другом с помощью имеющихся у них общих свойств, а также свойств, которые коррелируют между собой. Таким образом, система обеспечивает тем большие преимущества в достижении целей, чем выше ее уровень системности. В частности, система с нулевым уровнем системности вообще ничем не отличается от множества образующих ее элементов, т.е. тождественна этому множеству и никаких преимуществ в достижении целей не обеспечивает. Этим самым обеспечивается выполнение принципа соответствия между понятиями системы и множества. Из соблюдения этого принципа для понятий множества и системы следует и его соблюдение для понятий, основанных на теории множеств и их системных обобщений.

На этой основе можно ввести и новое научное понятие: понятие «антисистемы», применение которого оправдано в случаях, когда централизация (монополизация, интеграция) не только не дает положительного эффекта, но даже сказывается отрицательно. Антисистемой называется система с отрицательным уровнем системности, т.е. это такое объединение некоторого множества элементов за счет их взаимодействия в целое, которое препятствует достижению целей.

Фундаментом, находящимся в самом основании современной математики, является теория множеств. Эта теория лежит и в основе самого глубокого на сегодняшний день обоснования таких базовых математических понятий, как «число» и «функция». Определенный период этот фундамент казался незыблемым. Однако вскоре работы целой плеяды выдающихся ученых XX века, прежде всего Давида Гильберта, Бертрана Рассела и Курта Гёделя, со всей очевидностью обнажили фундаментальные логические и лингвистические проблемы, в частности проявляющиеся в форме парадоксов теории множеств, что в свою очередь привело к появлению ряда развернутых предложений по пересмотру самых глубоких оснований математики [20].

В задачи данной статьи не входит рассмотрение этой интереснейшей проблематики, а также истории возникновения и развития понятий числа и функции. Отметим лишь, что кроме рассмотренных в литературе вариантов существует возможность обобщения всех понятий математики, базирующихся на теории множеств, в частности теории информации, путем тотальной замены понятия множества на понятие системы и тщательного



отслеживания всех последствий этой замены. Это утверждение будем называть «программной идеей системного обобщения понятий математики».

Строго говоря, реализация данной программной идеи потребует прежде всего системного обобщения самой теории множеств и преобразование ее в математическую теорию систем, которая будет плавно переходить в современную теорию множеств при уровне системности стремящемся к нулю. При этом необходимо заметить, что существующая в настоящее время наука под названием «Теория систем» ни в коей мере не является обобщением математической теории множеств и ее не следует путать с математической теорией систем. Вместе с тем, на наш взгляд, существуют некоторые возможности обобщения ряда понятий математики и без разработки математической теории систем. К таким понятиям относятся прежде всего понятия «информация» и «функция».

Системному обобщению понятия информации посвящены работы автора [5, 6, 9, 10, 11] и другие, поэтому в данной статье на этом вопросе мы останавливаться не будем. Отметим лишь, что на основе предложенной системной теории информации (СТИ) были разработаны математическая модель и методика численных расчетов (структуры данных и алгоритмы), а также специальный программный инструментарий (система «Эйдос») автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ), который представляет собой системный анализ, автоматизированный путем его рассмотрения как метода познания и структурирования по базовым когнитивным операциям.

В АСК-анализе теоретически обоснована и реализована на практике в форме конкретной информационной технологии процедура установления новой универсальной, сопоставимой в пространстве и времени, ранее не используемой количественной, т.е. выражаемой числами, меры соответствия между событиями или явлениями любого рода, получившей название «системная мера целесообразности информации», которая по существу является количественной мерой знаний [10]. Это является достаточным основанием для того, чтобы назвать эти числа «когнитивными» от английского слова "cognition" – "познание".

В настоящее время функция понимается как соответствие друг другу нескольких множеств чисел. Поэтому виды функций можно классифицировать по крайней мере в зависимости от:

- природы этих чисел (натуральные, целые, дробные, действительные, комплексные и т.п.);
- количества и вида множеств чисел, связанных друг с другом в функции (функции одного, нескольких, многих, счетного или континуального количества аргументов, однозначные и многозначные функции, дискретные или континуальные функции) [10];
- степени жесткости и меры силы связи между множествами чисел (детерминистские функции, функции, в которых в качестве меры связи используется вероятность, корреляция и другие меры);

– степени расплывчатости чисел в множествах и самой формы функции (четкие и нечеткие функции, использование различных видов шкал, в частности интервальных оценок).

Так как функции, выявляемые модели предметной области методом АСК-анализа, связывают друг с другом множества когнитивных чисел, то предлагается называть их «когнитивными функциями». Учитывая перечисленные возможности классификации когнитивные функции, можно считать недетерминистскими многозначными функциями многих аргументов, в которых в качестве меры силы связи между множествами используется количественная мера знаний, т.е. системная мера целесообразности информации, основанная на интервальных оценках, номинальных и порядковых шкалах и шкалах отношений. Отметим, что детерминистские однозначные функции нескольких аргументов могут рассматриваться как частный случай когнитивных функций, к которому они сводятся при анализе жестко детерминированной предметной области, скажем явлений, описываемых классической физикой.

Итак, *предлагается программная идея системного обобщения понятий математики, в частности теории информации, основанных на теории множеств, путем замены понятия множества на более содержательное понятие системы.* Частично эта идея была реализована автором при разработке автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализа), математическая модель которого основана на системном обобщении формул для количества информации Хартли и Харкевича. Реализация следующего шага: системного обобщения понятия функциональной зависимости рассматривается в работе [87], в ней же вводятся новые научные понятия и соответствующие термины: «когнитивные функции» и «когнитивные числа». На численных примерах показано, что АСК-анализ обеспечивает выявление когнитивных функциональных зависимостей в многомерных зашумленных фрагментированных данных.

### ***2.5.2.2 Теоретические основы системной теории информации***

#### ***2.5.2.2.1 Требования к математической модели и численной мере***

Для практической реализации идеи решения проблемы необходимо сформулировать требования к математической модели и численной мере, вытекающие из когнитивной концепции и специфических свойств активного объекта управления в АПК (слабодетерминированность, многофакторность, активность).

**Требования к математической модели предусматривают:** содержательную интерпретируемость; эффективную вычислимость на основе непосредственно эмпирических данных (наличие эффективного численного метода); универсальность; адекватность; сходимос-

семантическую устойчивость; сопоставимость результатов моделирования в пространстве и времени; непараметричность; формализацию базовых когнитивных операций системного анализа (прежде всего таких, как обобщение, абстрагирование, сравнение, классификация и др.); корректность работы на фрагментарных, неточных и зашумленных данных; возможность обработки данных очень больших размерностей (тысячи факторов и будущих состояний объекта управления); математическую и алгоритмическую ясность и простоту, эффективность программной реализации.

**Требования к численной мере.** Ключевым при построении математических моделей является выбор количественной меры, обеспечивающей учет степени причинно-следственной взаимосвязи исследуемых параметров. Эта мера должна удовлетворять следующим требованиям:

1) обеспечивать эффективную вычислимость на основе эмпирических данных, полученных непосредственно из опыта;

2) обладать универсальностью, т.е. независимостью от предметной области;

3) подчиняться единому для различных предметных областей принципу *содержательной интерпретации*;

4) количественно измеряться в единых единицах измерения а количественной шкале (шкала с естественным нулем, максимумом или минимумом);

5) учитывать понятия: "цели объекта управления", "цели управления"; "мощность множества будущих состояний объекта управления"; уровень системности объекта управления; степень детерминированности объекта управления;

6) обладать сопоставимостью в пространстве и во времени;

7) обеспечивать возможность введения метрики или неметрической функции принадлежности на базе выбранной количественной меры.

Для того, чтобы выбрать тип (класс) модели, удовлетворяющей сформулированным требованиям, необходимо решить на какой форме информации эта модель будет основана: абсолютной, относительной или аналитической.

#### 2.5.2.2.2 Выбор базовой численной меры

Абсолютная, относительная и аналитическая информация.

Широко известны абсолютная и относительная формы информации. Абсолютная форма – это просто количество, частота. Относительная форма – это доли, проценты, относительные частоты и вероятности.

Менее знакомы специалистам с аналитической формой информации, примером которой является условные вероятности, стандартизированные статистические значения, эластичность и количество информации.

Очевидно, что и из относительной информации, взятой изолированно, вырванной из контекста, делать какие-либо обоснованные выводы не

представляется возможным. Для того, чтобы о чем-то судить по процентам, нужен их сопоставительный анализ, т.е. анализ всего процентного распределения. Обычно для используется "база оценки", в качестве которой используется среднего по всей совокупности или "скользящее среднее" (нормативный подход: норма – среднее).

Аналитическая (сопоставительная) информация – это информация, содержащаяся в отношении вероятности (или процента) к некоторой базовой величине, например к средней вероятности по всей выборке. Аналитическими являются также стандартизированные величины в статистике и количество информации в теории информации.

Очевидно, именно аналитическая информация является наиболее кондиционной для употребления с той точки зрения, что позволяет непосредственно делать содержательные выводы об исследуемой предметной области (точнее будет сказать, что она сама и является выводом), тогда как для того, чтобы сделать аналогичные выводы на основе относительной, и особенно абсолютной информации требуется ее значительная предварительная обработка.

Выбор в качестве базовой численной меры количества информации

Как было показано в лекции 2, системный анализ представляет собой теоретический метод познания, т.е. информационный процесс, в котором поток информации направлен от познаваемого объекта к познающему субъекту. Процесс труда, напротив, представляет собой процесс, в котором поток информации направлен от субъекта к объекту. При этом информация передается по каналу связи, представляющему собой средства труда, и записывается в носитель информации (предмет труда), который в ходе этого процесса преобразуется в заранее заданную форму, т.е. в продукт труда. Таким образом, процесс труда по сути дела представляет собой информационный процесс, обратный по направлению потока информации процессу познания. Управление представляет собой процесс, на различных этапах которого выполняются функции, сходные с процессами труда (управляющее воздействие) и познания (обратная связь). По мнению автора, информационный подход к управлению является наиболее общим. Поэтому в качестве количественной меры взаимосвязи факторов и будущих состояний АОУ целесообразно использовать количество информации. Более подробное обоснование целесообразности выбора в качестве численной меры количества информации приведено в работе автора [81].

Однако, известно много различных информационных мер и, следовательно, возникает задача выбора одной из них, оптимальной по выбранным критериям. Различные выражения классической теории информации для количества информации: Хартли, Шеннона, Харкевича и др., учитывают различные аспекты информационного моделирования объектов (таблице 5.2):

Таблица 5.6 – СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ  
ВЫРАЖЕНИЙ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВА ИНФОРМАЦИИ

|                                     | Хартли   | Шеннон   | Харкевич |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| Мощность множества состояний        | +        | –        | –        |
| Факторы                             | –        | +        | +        |
| Цель                                | –        | –        | +        |
| Уровень системности объекта         | –        | –        | –        |
| Степень детерминированности объекта | –        | –        | –        |
| <b>Рейтинг</b>                      | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>2</b> |

– формула Хартли учитывает количество классов (мощность множества состояний объекта управления) но никак не учитывает их признаков или факторов, переводящих объект в эти состояния, т.е. содержит интегральное описание объектов;

– формула Шеннона основывается на учете признаков, т.е. основывается на дискретном описании объектов;

– формула Харкевича учитывает понятие цели и также как формула Шеннона основана на статистике признаков, но не учитывает мощности множества будущих состояний объекта управления, включающего целевые и другие будущие состояния объекта управления и также как формула Шеннона основывается на дискретном описании объектов.

Как видно из таблицы 8, классическая формула Харкевича по учитываемым критериям имеет преимущества перед классическими формулами Хартли и Шеннона, т.к. учитывает как факторы, так и *понятие цели, ключевое для системного анализа, теории и практики управления (в т.ч. АСУ)*. Поэтому именно выражение для семантической целесообразности информации Харкевича взято за основу при выводе обобщающего выражения, удовлетворяющего всем предъявляемым требованиям.

#### 2.5.2.2.3 Конструирование системной численной меры на основе базовой

Системное обобщение формулы Хартли для количества информации  
Классическая формула Хартли имеет вид:

$$I = \text{Log}_2 W \quad (5.1)$$

Будем искать ее системное обобщение в виде:

$$I = \text{Log}_2 W^\varphi \quad (5.2)$$

где:

$W$  – количество чистых (классических) состояний системы.

$\varphi$  – коэффициент эмерджентности Хартли (уровень системной организации объекта, имеющего  $W$  чистых состояний);

Учитывая, что возможны *смешанные состояния, являющиеся нелинейной суперпозицией или одновременной реализацией чистых (классических) состояний* "из  $W$  по  $m$ ", всего возможно  $C_W^m$  состояний системы, являющихся сочетаниями классических состояний. Таким образом,

*примем за аксиому*, что системное обобщение формулы Хартли имеет вид [81]:

$$I = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m \quad (5.3)$$

где:  $W$  – количество элементов в системе альтернативных будущих состояний АОУ (количество чистых состояний);  $m$  – сложность смешанных состояний АОУ;  $M$  – максимальная сложность смешанных состояний АОУ.

Выражение (5.1) дает количество информации в активной системе, в которой чистые и смешанные состояния равновероятны. Смешанные состояния активных систем, возникающие под действием системы нелинейно-взаимодействующих факторов, считаются такими же измеримыми, как и чистые альтернативные состояния, возникающие под действием детерминистских факторов. Так как  $C_W^1 = W$ , то при  $M=1$  выражение (5.3) приобретает вид (5.1), т.е. выполняется *принцип соответствия*, являющийся обязательным для более общей теории.

Рассмотрим подробнее смысл выражения (3.3), представив сумму в виде ряда слагаемых:

$$I = \text{Log}_2 (C_W^1 + C_W^2 + \dots + C_W^M) \quad (5.4)$$

Первое слагаемое в (5.4) дает количество информации по классической формуле Хартли, а остальные слагаемые – *дополнительное количество информации, получаемое за счет системного эффекта*, т.е. за счет наличия у системы иерархической структуры или смешанных состояний. *По сути дела эта дополнительная информация является информацией об иерархической структуре системы, как состоящей из ряда подсистем различных уровней сложности.*

Например, пусть система состоит из  $W$  пронумерованных элементов 1-го уровня иерархии. Тогда на 2-м уровне иерархии элементы соединены в подсистемы из 2 элементов 1-го уровня, на 3-м – из 3, и т.д. Если выборка любого элемента равновероятна, то из факта выбора  $n$ -го элемента по классической формуле Хартли мы получаем количество информации согласно (5.1). Если же при этом известно, что данный элемент входит в определенную подсистему 2-го уровня, то это дает дополнительное количество информации, за счет учета второго слагаемого, поэтому общее количество получаемой при этом информации будет определяться выражением (5.4) уже с двумя слагаемыми ( $M=2$ ). Если элемент одновременно входит в  $M$  подсистем разных уровней, то количество информации, получаемое о системе и ее подсистемах при выборке этого элемента определяется выражением (5.4). Так, если мы вытаскиваем кирпич из неструктурированной кучи, состоящей из 32 кирпичей, то получаем 5 бит информации, если же из этих кирпичей сложен дом, то при аналогичном действии мы получаем дополнительное количество информации о том, из каких части дома (подсистем различного уровня иерархии) вытасчен этот кирпич. Действия каменщика, укладывающего кирпич на место,

предусмотренное *проектом*, значительно выше по целесообразности, чем у грузчика, складывающего кирпичи в кучу. Учитывая, что при  $M=W$ :

$$\sum_{m=1}^M C_W^m = 2^W - 1 \quad (5.5)$$

в этом случае получаем:

$$I = \text{Log}_2(2^W - 1) \quad (5.6)$$

Выражение (3.5) дает *оценку максимального количества информации*, которое может содержаться в элементе системы с учетом его вхождения в различные подсистемы ее иерархической структуры.

Однако реально в любой системе осуществляются не все формально возможные сочетания элементов 1-го уровня иерархии, т.к. существуют различные **правила запрета**, различные для разных систем. Это означает, что возможно множество различных систем, состоящих из одинакового количества тождественных элементов, и отличающихся своей структурой, т.е. строением подсистем различных иерархических уровней. Эти различия систем как раз и возникают благодаря различию действующих для них этих правил запрета. По этой причине *систему правил запрета предлагается назвать информационным проектом системы*. Различные системы, состоящие из равного количества одинаковых элементов (например, дома, состоящие из 20000 кирпичей), отличаются друг от друга именно по причине различия своих информационных проектов.

Из выражения (3.5) очевидно, что  $I$  быстро стремится к  $W$ :

$$\begin{aligned} \text{при } W \rightarrow \infty \\ I \rightarrow W \end{aligned} \quad (5.7)$$

В действительности уже при  $W > 4$  погрешность выражения (3.5) не превышает 1% (таблица 9).

Таблица 5.3 – ЗАВИСИМОСТЬ ПОГРЕШНОСТИ  
ВЫРАЖЕНИЯ (3.5) ОТ КОЛИЧЕСТВА КЛАССОВ  $W$

| $W$                | 2      | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|--------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Погрешность<br>в % | 20,752 | 6,422 | 2,328 | 0,916 | 0,379 | 0,162 | 0,071 | 0,031 | 0,014 |

График зависимости погрешности выражения (3.5) от количества классов  $W$  приведен на рисунке 24.



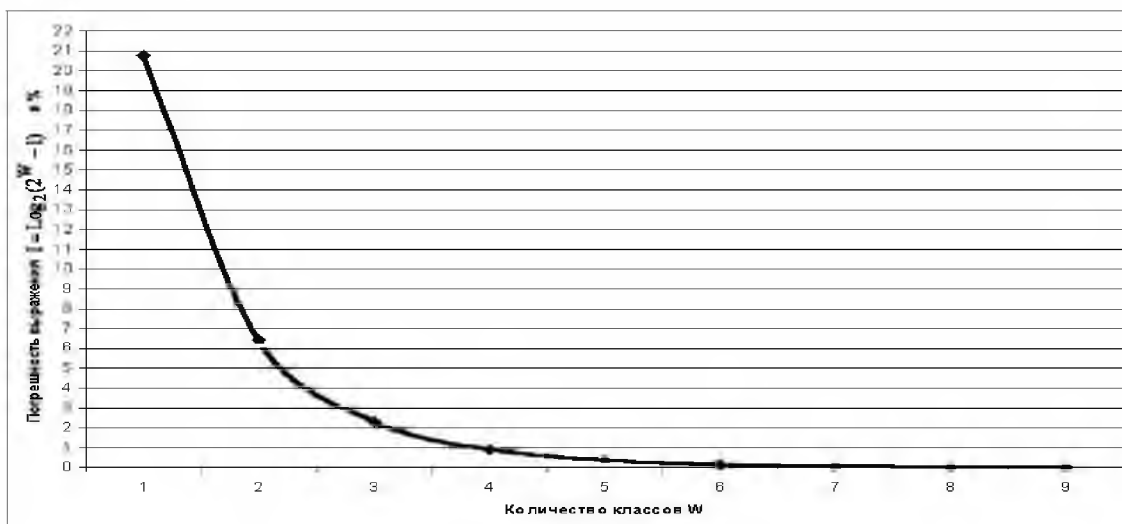


Рисунок 5.3 - Зависимость погрешности приближенного выражения системного обобщения формулы Хартли от количества классов W

Приравняв правые части выражений (3.2) и (3.3):

$$I = \text{Log}_2 W^\varphi = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m \quad (5.8)$$

получим выражение для коэффициента эмерджентности Хартли(терм. авт.).

$$\varphi = \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log}_2 W} \quad (5.9)$$

Непосредственно из вида выражения для коэффициента эмерджентности Хартли (5.9) ясно, что он представляет собой относительное превышение количества информации о системе при учете системных эффектов (смешанных состояний, иерархической структуры ее подсистем и т.п.) над количеством информации без учета системности, т.е. этот коэффициент отражает уровень системности объекта.

С учетом выражения (5.9) выражение (5.2) примет вид:

$$I(W, M) = \text{Log}_2 W \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log}_2 W} \quad (5.10)$$

или при M=W и больших W, учитывая (5.4 – 5.6).

$$I(W, M) = \text{Log}_2 W \frac{W}{\text{Log}_2 W} = W \quad (5.11)$$

Выражение (5.10) и представляет собой искомое системное обобщение классической формулы Хартли, а выражение (5.11) – его достаточно хорошее

приближение при большом количестве элементов или состояний системы (W).

Коэффициент эмерджентности Хартли представляет собой относительное превышение количества информации о системе при учете системных эффектов (смешанных состояний, иерархической структуры ее подсистем и т.п.) над количеством информации без учета системности, т.е. этот коэффициент является аналитическим выражением для *уровня системности объекта*. Таким образом, **коэффициент эмерджентности Хартли отражает уровень системности объекта и изменяется от 1 (системность минимальна, т.е. отсутствует) до  $W/\text{Log}_2 W$  (системность максимальна)**. Очевидно, для каждого количества элементов системы существует свой максимальный уровень системности, который никогда реально не достигается из-за действия **правил запрета** на реализацию в системе ряда подсистем различных уровней иерархии.

**Например:** из 32 букв русского алфавита может быть образовано не  $C_{32}^6 = 906192$  осмысленных 6-буквенных слов, а значительно меньше. Если мы услышим одно из этих в принципе возможных слов, то получим не  $5 \times 6 = 30$  информации, содержащейся непосредственно в буквах (в одной букве содержится  $\text{Log}_2 32 = 5$  бит), а  $30 + 19,79 = 49,79$  бит, т.е. в 1.66 раз больше. Это и есть *уровень системности иерархического уровня 6-буквенных слов русского языка*. Уровень системности русского языка, как системы, состоящей из слов длиной от одной до 6 букв, согласно выражения (3.9) с учетом (3.5), равен примерно 6,4. Но при этом еще не была учтена информация, содержащаяся в последовательности слов, в последовательности предложений и т.д.

Итак, в предложении содержится значительно больше информации, чем в буквах, с помощью которых оно написано, т.к. кроме букв информацию содержат слова, сочетания слов, последовательность предложений и т.д.. Буквы образуют 1-й иерархический уровень языка, слова – 2-й, предложения – 3-й, абзацы – 4-й, параграфы – 5-й, главы – 6-й, произведения – 7-й. Теория Шеннона концентрирует основное внимание на рассмотрении 1-го уровня, т.е. рассматривает тексты, прежде всего, как последовательность символов. Но именно иерархическая организация, не учитываемая в теории Шеннона и отраженная в системной теории информации, обеспечивает языку его удивительную мощь, как средства отражения и моделирования реальности.

Аналогично и в генах, этих своеобразных "символах генома", содержится значительно больше информации о фенотипе, чем предполагается в классической генетике Менделя, т.к. гены образуют ансамбли различных уровней иерархии в зависимости от влияния среды и технологий управления (явление адаптивности системы "генотип-среда", Драгавцев В.А., 1993). Если ген уподобить букве алфавита, а смысл фразы – фенотипическому признаку, то можно сказать, что **возможно очень большое количество фраз с практически тождественным смысловым содержанием** (тогда как в классической генетике считалось, что признак

соответствует гену, хотя есть и такие). После расшифровки генома человека мы настолько же приблизились к его пониманию, как изучивший русскую или немецкую азбуку англичанин, не знающий этих языков, приблизился к чтению в оригинале и пониманию содержания "Войны и Мира" Льва Толстого или "Феноменологии Духа" Георга В.Ф.Гегеля.

На уровне слов верхняя оценка уровня системности русского языка с учетом (3.5) составляет огромную величину: 2616,48 (предполагается, что в русском языке 40000 слов и предложения могут иметь любую длину). Необходимо отметить, что *правила запрета на порядок слов в русском языке значительно слабее, чем, например в английском, поэтому в русском языке возможно гораздо больше грамматически правильных и несущих различную информацию предложений из одних и тех же слов, чем в английском.* Это значит, что уровень системности русского языка на уровне предложений, по-видимому, значительно превосходит уровень системности английского языка. При длине предложения до 2-х слов системность русского языка на уровне предложений согласно (5.9) составляет: 52330916.

Анализ выражения (5.9) показывает, что при  $M=1$  оно преобразуется в (5.1), т.е. *выполняется принцип соответствия.* При  $M>1$  количество информации в соответствии с системной теорией информации (СТИ) (5.9) будет превосходить количество информации, рассчитанное по классической теории информации (КТИ) (3.1). Непосредственно из выражения (5.2) получаем:

$$I(W, M) = \text{Log}_2 W + \text{Log}_2 W^{\varphi-1} \quad (5.12)$$

Первое слагаемое в выражении (5.12) отражает количество информации, согласно КТИ, а второе – СТИ, т.е. доля системной информации.

Представляет несомненный интерес исследование закономерностей изменения доли системной информации в поведении элемента системы в зависимости от количества классов  $W$  и сложности смешанных состояний  $M$ .

В таблице 5.4 приведены результаты численных расчетов в соответствии с выражением (5.9). Сводные данные из таблиц 5.3-5.4 приведены в таблице 5.5, а в графическом виде они представлены на рисунке 5.4.

Рост количества информации в СТИ по сравнению с КТИ обусловлен системным эффектом (эмерджентностью), который связан с учетом смешанных состояний, возникающих путем одновременной реализации (суперпозиции) нескольких чистых (классических) состояний под действием системы нелинейно-взаимодействующих недетерминистских факторов.

Выражение (3.9) дает максимальную возможную оценку количества информации, т.к. могут существовать различные *правила запрета* на реализацию тех или иных смешанных состояний.

Фактически это означает, что в СТИ множество возможных состояний объекта рассматривается не как совокупность несвязанных друг с другом состояний, как в КТИ, а как *система*, уровень системности которой как раз и

определяется коэффициентом эмерджентности Хартли  $\phi$  (3.9), являющегося монотонно возрастающей функцией сложности смешанных состояний  $M$ .

Следовательно, *дополнительная информация, которую мы получаем из поведения объекта в СТИ, по сути дела является информацией о системе всех возможных состояний объекта, элементом которой является объект в некотором данном состоянии.*

Таблица 5.4 - зависимость  $I(W, M)$  от количества классов  $W$  и сложности смешанных состояний  $M$

| W=2 |                 |                      |         | W=3 |                 |                      |         | W=4  |                 |                      |         |
|-----|-----------------|----------------------|---------|-----|-----------------|----------------------|---------|------|-----------------|----------------------|---------|
| M   | Число сочетаний |                      | I(W, M) | M   | Число сочетаний |                      | I(W, M) | M    | Число сочетаний |                      | I(W, M) |
|     | Из W по m       | Сумма по m от 1 до M |         |     | Из W по m       | Сумма по m от 1 до M |         |      | Из W по m       | Сумма по m от 1 до M |         |
| 1   | 2               | 2                    | 1,00000 | 1   | 3               | 3                    | 1,58496 | 1    | 4               | 4                    | 2,00000 |
| 2   | 1               | 3                    | 1,58496 | 2   | 3               | 6                    | 2,58496 | 2    | 6               | 10                   | 3,32193 |
| 3   |                 | 4                    | 2,00000 | 3   | 1               | 7                    | 2,80735 | 3    | 4               | 14                   | 3,80735 |
| 4   |                 |                      |         | 4   |                 | 8                    | 3,00000 | 4    | 1               | 15                   | 3,90689 |
| 5   |                 |                      |         | 5   |                 |                      |         | 5    |                 | 16                   | 4,00000 |
| W=5 |                 |                      |         | W=6 |                 |                      |         | W=7  |                 |                      |         |
| M   | Число сочетаний |                      | I(W, M) | M   | Число сочетаний |                      | I(W, M) | M    | Число сочетаний |                      | I(W, M) |
|     | Из W по m       | Сумма по m от 1 до M |         |     | Из W по m       | Сумма по m от 1 до M |         |      | Из W по m       | Сумма по m от 1 до M |         |
| 1   | 5               | 5                    | 2,32193 | 1   | 6               | 6                    | 2,58496 | 1    | 7               | 7                    | 2,80735 |
| 2   | 10              | 15                   | 3,90689 | 2   | 15              | 21                   | 4,39232 | 2    | 21              | 28                   | 4,80735 |
| 3   | 10              | 25                   | 4,64386 | 3   | 20              | 41                   | 5,35755 | 3    | 35              | 63                   | 5,97728 |
| 4   | 5               | 30                   | 4,90689 | 4   | 15              | 56                   | 5,80735 | 4    | 35              | 98                   | 6,61471 |
| 5   | 1               | 31                   | 4,95420 | 5   | 6               | 62                   | 5,95420 | 5    | 21              | 119                  | 6,89482 |
| 6   |                 | 32                   | 5,00000 | 6   | 1               | 63                   | 5,97728 | 6    | 7               | 126                  | 6,97728 |
| 7   |                 |                      |         | 7   |                 | 64                   | 6,00000 | 7    | 1               | 127                  | 6,98868 |
| 8   |                 |                      |         | 8   |                 |                      |         | 8    |                 | 128                  | 7,00000 |
| W=8 |                 |                      |         | W=9 |                 |                      |         | W=10 |                 |                      |         |
| M   | Число сочетаний |                      | I(W, M) | M   | Число сочетаний |                      | I(W, M) | M    | Число сочетаний |                      | I(W, M) |
|     | Из W по m       | Сумма по m от 1 до M |         |     | Из W по m       | Сумма по m от 1 до M |         |      | Из W по m       | Сумма по m от 1 до M |         |
| 1   | 8               | 8                    | 3,00000 | 1   | 9               | 9                    | 3,16993 | 1    | 10              | 10                   | 3,32193 |
| 2   | 28              | 36                   | 5,16993 | 2   | 36              | 45                   | 5,49185 | 2    | 45              | 55                   | 5,78136 |
| 3   | 56              | 92                   | 6,52356 | 3   | 84              | 129                  | 7,01123 | 3    | 120             | 175                  | 7,45121 |
| 4   | 70              | 162                  | 7,33985 | 4   | 126             | 255                  | 7,99435 | 4    | 210             | 385                  | 8,58871 |
| 5   | 56              | 218                  | 7,76818 | 5   | 126             | 381                  | 8,57365 | 5    | 252             | 637                  | 9,31515 |
| 6   | 28              | 246                  | 7,94251 | 6   | 84              | 465                  | 8,86109 | 6    | 210             | 847                  | 9,72622 |
| 7   | 8               | 254                  | 7,98868 | 7   | 36              | 501                  | 8,96867 | 7    | 120             | 967                  | 9,91737 |
| 8   | 1               | 255                  | 7,99435 | 8   | 9               | 510                  | 8,99435 | 8    | 45              | 1012                 | 9,98299 |
| 9   |                 | 256                  | 8,00000 | 9   | 1               | 511                  | 8,99718 | 9    | 10              | 1022                 | 9,99718 |
| 10  |                 |                      |         | 10  |                 | 512                  | 9,00000 | 10   | 1               | 1023                 | 9,99859 |

Таблица 5.5 - зависимость количества информации  $I(W, M)$  от сложности смешанных состояний  $M$  для различного количества классов  $W$

| M            | W=2     | W=3     | W=4     | W=5     | W=6     | W=7     | W=8     | W=9     | W=10    |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|              | I(W, M) | I(W, M) | I(W, M) | I(W, M) | I(W, M) | I(W, M) | I(W, M) | I(W, M) | I(W, M) |
| 1            | 1,00000 | 1,58496 | 2,00000 | 2,32193 | 2,58496 | 2,80735 | 3,00000 | 3,16993 | 3,32193 |
| 2            | 1,58496 | 2,58496 | 3,32193 | 3,90689 | 4,39232 | 4,80735 | 5,16993 | 5,49185 | 5,78136 |
| 3            | 2,00000 | 2,80735 | 3,80735 | 4,64386 | 5,35755 | 5,97728 | 6,52356 | 7,01123 | 7,45121 |
| 4            | 2,00000 | 3,00000 | 3,90689 | 4,90689 | 5,80735 | 6,61471 | 7,33985 | 7,99435 | 8,58871 |
| 5            | 2,00000 | 3,00000 | 4,00000 | 4,95420 | 5,95420 | 6,89482 | 7,76818 | 8,57365 | 9,31515 |
| 6            | 2,00000 | 3,00000 | 4,00000 | 5,00000 | 5,97728 | 6,97728 | 7,94251 | 8,86109 | 9,72622 |
| 7            | 2,00000 | 3,00000 | 4,00000 | 5,00000 | 6,00000 | 6,98868 | 7,98868 | 8,98867 | 9,91737 |
| 8            | 2,00000 | 3,00000 | 4,00000 | 5,00000 | 6,00000 | 7,00000 | 7,99435 | 8,99435 | 9,98299 |
| 9            | 2,00000 | 3,00000 | 4,00000 | 5,00000 | 6,00000 | 7,00000 | 8,00000 | 8,99718 | 9,99718 |
| 10           | 2,00000 | 3,00000 | 4,00000 | 5,00000 | 6,00000 | 7,00000 | 8,00000 | 9,00000 | 9,99859 |
| (СТИ-КТИ)*   | 0,585   | 1,222   | 1,907   | 2,632   | 3,392   | 4,181   | 4,994   | 5,827   | 6,677   |
| (СТИ-КТИ)**  |         | 0,637   | 0,684   | 0,725   | 0,760   | 0,789   | 0,813   | 0,833   | 0,849   |
| (СТИ-КТИ)*** |         |         | 0,047   | 0,041   | 0,035   | 0,029   | 0,024   | 0,020   | 0,017   |

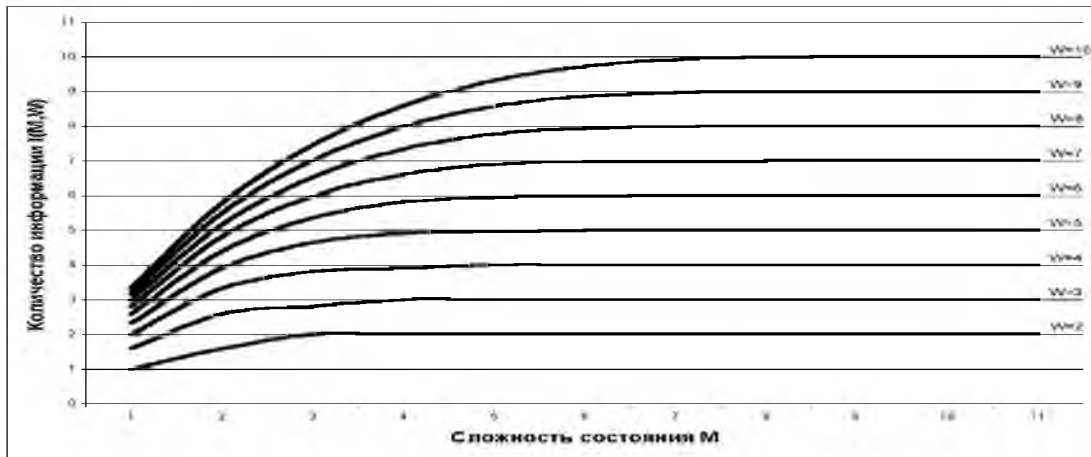


Рисунок 5.4 - Зависимость количества информации  $I(W, M)$  от сложности смешанных состояний  $M$  для разного количества классов  $W$

**Гипотеза о законе возрастания эмерджентности и следствия из него**

Численные расчеты и аналитические выкладки в соответствии с СТИ показывают, что при возрастании количества элементов в системе доля системной информации в поведении ее элементов возрастает. Это обнаруженное нами новое фундаментальное свойство систем предлагается назвать законом возрастания эмерджентности.

*Закон возрастания эмерджентности:* "Чем больше элементов в системе, тем большую долю содержащейся в ней информации составляет информация, содержащаяся во взаимосвязях ее элементов".

На рисунках 5.5-5.6 приведены графики скорости и ускорения возрастания эмерджентности в зависимости от количества элементов  $W$  в системе.



Рисунок 5.5 - Возрастание доли системной информации в поведении элемента системы при увеличении количества элементов  $W$

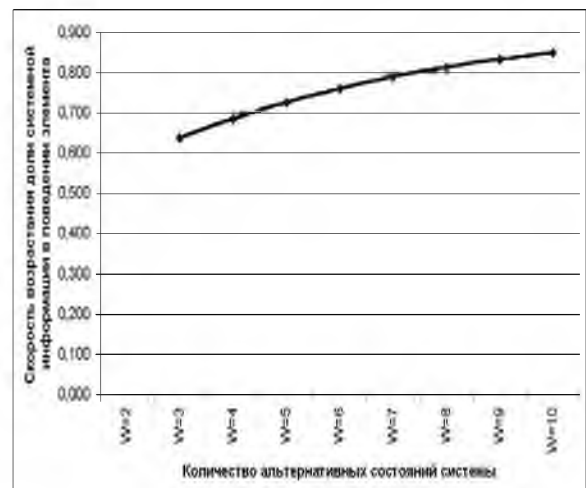


Рисунок 5.6 - Ускорение возрастания доли системной информации в поведении элемента системы от количества элементов  $W$

Более детальный анализ предполагаемого закона возрастания эмерджентности с использованием конечных разностей первого и второго порядка (таблица 5.5) показывает, что *при увеличении количества элементов в системе доля системной информации в ней возрастает с ускорением, которое постепенно уменьшается*. Это утверждение будем называть леммой 1.

Продолжим анализ закона возрастания эмерджентности. Учитывая, что:

$$C_W^m = \frac{W!}{m!(W-m)!}$$

выражение (5.3) принимает вид:

$$I = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M \frac{W!}{m!(W-m)!} \quad (5.13)$$

где:  $1 \leq M \leq W$ .

$$\begin{aligned} I &= \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M \frac{W!}{m!(W-m)!} = \\ &= \text{Log}_2 \left( W! \cdot \sum_{m=1}^M \frac{1}{m!(W-m)!} \right) = \\ &= \text{Log}_2(W!) + \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M \frac{1}{m!(W-m)!} = \\ &= \sum_{n=2}^W \text{Log}_2 n + \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M \frac{1}{m!(W-m)!} \end{aligned}$$

и учитывая, что  $\text{Log}_2 1 = 0$ , выражение (5.13) приобретает вид:

$$I = \sum_{n=2}^W \text{Log}_2 n + \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M \frac{1}{m!(W-m)!} = I(W) + I(W, M) \quad (5.14)$$

Где введены обозначения:

$$I(W) = \sum_{n=2}^W \text{Log}_2 n \quad (5.15)$$

$$I(W, M) = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M \frac{1}{m!(W-m)!}$$

С учетом (5.14) выражение (5.9) для коэффициента эмерджентности Хартли приобретает вид:

$$\varphi = \frac{\sum_{n=2}^W \text{Log}_2 n}{\text{Log}_2 W} + \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M \frac{1}{m!(W-m)!}}{\text{Log}_2 W}$$

Заменяя в (5.13) факториал на Гамма-функцию, получаем обобщение выражения (5.3) на непрерывный случай:

$$\begin{aligned} I &= \text{Log}_2 \int_{m=1}^M \left( \frac{G(W)}{G(m) \cdot G(W-m)} \right) dm = \\ &= \text{Log}_2 \left\{ G(W) \cdot \int_{m=1}^M \frac{dm}{G(m) \cdot G(W-m)} \right\} = \\ &= \text{Log}_2 G(W) + \text{Log}_2 \int_{m=1}^M \frac{dm}{G(m) \cdot G(W-m)} \end{aligned}$$

Или окончательно:

$$I = \text{Log}_2 G(W) + \text{Log}_2 \int_{m=1}^M \frac{dm}{G(m) \cdot G(W-m)} = I(W) + I(W, M) \quad (5.16)$$

Для непрерывного случая обозначения (3.15) принимают вид:

$$I(W) = \text{Log}_2 G(W)$$

$$I(W, M) = \text{Log}_2 \int_{m=1}^M \frac{dm}{G(m) \cdot G(W-m)} \quad (5.17)$$

Учитывая выражения (5.9) и (5.16) получим выражение для коэффициента эмерджентности Хартли для непрерывного случая:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{\text{Log}_2 G(W) + \text{Log}_2 \int_{m=1}^M \frac{dm}{G(m) \cdot G(W-m)}}{\text{Log}_2 W} = \\ &= \frac{\text{Log}_2 G(W)}{\text{Log}_2 W} + \frac{\text{Log}_2 \int_{m=1}^M \frac{dm}{G(m) \cdot G(W-m)}}{\text{Log}_2 W} \end{aligned}$$

И окончательно для непрерывного случая:

$$\varphi = \frac{\text{Log}_2 G(W)}{\text{Log}_2 W} + \frac{\text{Log}_2 \int_{m=1}^M \frac{dm}{G(m) \cdot G(W-m)}}{\text{Log}_2 W} \quad (5.18)$$

Анализируя выражения (5.14) и (5.16) видим, что количество информации, получаемое при выборке из системы некоторого ее элемента, состоит из двух слагаемых:

1)  $I(W)$ , зависящего только от количества элементов в системе  $W$  (первое слагаемое);

2)  $I(W, M)$ , зависящего как от количества элементов в системе  $W$ , так и от максимальной сложности, т.е. связности элементов подсистем  $M$  между собой (второе слагаемое).



Этот результат позволяет высказать гипотезы "О природе сложности системы" и "О видах системной информации":

– сложность системы определяется количеством содержащейся в ней информации;

– системная информация включает две составляющих: зависящее от количества элементов системы и зависящее также от характера взаимосвязей между элементами.

Изучим какой относительный вклад вносит каждое слагаемое в общее количество информации системы в зависимости от числа элементов в системе  $W$  и сложности подсистем  $M$ . Результаты численных расчетов показывают, что чем выше уровень системности, тем большая доля информации системы содержится во взаимосвязях ее элементов, и чем меньше элементов в системе, тем быстрее возрастает доля информации, содержащейся во взаимосвязях элементов при возрастании уровня системности. Эти утверждения будем рассматривать как леммы 2 и 3. Таким образом полная формулировка гипотезы о законе возрастания эмерджентности с гипотезой о видах информации в системе и тремя леммами приобретает вид:

**Гипотеза о законе возрастания эмерджентности:** "Чем больше элементов в системе, тем большую долю содержащейся в ней информации составляет информация, содержащаяся во взаимосвязях ее элементов" (рисунок 5.7).



Рисунок 5.7 - Закон возрастания эмерджентности

**Гипотеза 1: "О природе сложности системы":** сложность системы определяется количеством содержащейся в ней информации.

**Гипотеза 2: "О видах системной информации":** системная информация включает две составляющие:

- зависящую от количества элементов системы;
- зависящую как от количества элементов системы, так и от сложности взаимосвязей между ними.

**Лемма-1:** при увеличении количества элементов в системе доля системной информации в ней возрастает с ускорением, которое постепенно уменьшается.

**Лемма-2:** чем выше уровень системности, тем большая доля информации системы содержится во взаимосвязях ее элементов.

**Лемма-3:** чем меньше элементов в системе, тем быстрее возрастает доля информации, содержащейся во взаимосвязях элементов при возрастании уровня системности.

### Системное обобщение классической формулы Харкевича, как количественная мера знаний

Это обобщение представляет большой интерес, в связи с тем, что А.Харкевич впервые ввел в теорию информации понятие цели, т.е. по сути предложил количественную меру знаний. Он считал, что количество информации, сообщенное объекту, можно измерять по изменению вероятности достижения цели этим объектом за счет использования им этой информации.

Рассмотрим таблицу 2. 12, в которой столбцы соответствуют будущим состояниям АОУ (целевым и нежелательным), а строки факторам, характеризующим объект управления, управляющую систему и окружающую среду.

Таблица 5.6 – Матрица абсолютных частот

| Атрибуты                                                                                           | Классы - будущие состояния объекта управления |   |          |                         |          |     | Сумма |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---|----------|-------------------------|----------|-----|-------|
|                                                                                                    | Целевые состояния                             |   |          | Нежелательные состояния |          |     |       |
|                                                                                                    | ***                                           | j |          | ***                     | l        | *** |       |
| Факторы, характеризующие текущее и прошлые состояния объекта управления, в т.ч. его рефлексивность | ***                                           |   |          |                         |          |     |       |
|                                                                                                    | r                                             |   | $N_{rj}$ |                         | $N_{rl}$ |     | $N_r$ |
| Управляющие факторы системы управления                                                             | i                                             |   | $N_{ij}$ |                         | $N_{il}$ |     | $N_i$ |
|                                                                                                    | ***                                           |   |          |                         |          |     |       |
| Факторы, характеризующие прошлые, текущее и прогнозируемые состояния окружающей среды              | k                                             |   | $N_{kj}$ |                         | $N_{kl}$ |     | $N_k$ |
|                                                                                                    | ***                                           |   |          |                         |          |     |       |
| Сумма                                                                                              |                                               |   | $N_j$    |                         | $N_l$    |     | $N$   |

где

$N_{ij}$  – количество встреч i-го признака у объектов j-го класса по данным обучающей выборки

Классическая формула А.Харкевича имеет вид:

$$I_{ij}(W, M) = \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_j} \quad (5.19)$$

где:

- $W$  – количество классов (мощность множества будущих состояний объекта управления)
- $M$  – максимальный уровень сложности смешанных состояний объекта управления;
- индекс  $i$  обозначает фактор:  $1 \leq i \leq M$ ;
- индекс  $j$  обозначает класс:  $1 \leq j \leq W$ ;
- $P_{ij}$  – вероятность достижения объектом управления  $j$ -й цели при условии сообщения ему  $i$ -й информации;
- $P_j$  – вероятность самопроизвольного достижения объектом управления  $j$ -й цели.

Ниже глобальные параметры модели  $W$  и  $M$  в выражениях для  $I$  опускаются, т.к. они являются константами для конкретной математической модели АСК-анализа.

Однако: А.Харкевич в своем выражении для количества информации не ввел зависимости количества информации, *от мощности про-странства будущих состояний объекта управления*, в т.ч. от количества его целевых состояний. Вместе с тем, один из возможных вариантов учета количества будущих состояний объекта управления обеспечивается классической и системной формулами Хартли (3.1) и (3.9); выражение (3.19) при подстановке в него реальных численных значений вероятностей  $P_{ij}$  и  $P_j$  не дает количества информации в битах; для выражения (3.19) не выполняется принцип соответствия, считающийся обязательным для обобщающих теорий. Возможно, в этом состоит одна из причин слабого взаимодействия между классической теорией информации Шеннона и семантической теорией информации.

Чтобы снять эти вопросы, приближенно выразим вероятности  $P_{ij}$ ,  $P_i$  и  $P_j$  через частоты:

$$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j}; P_i = \frac{N_i}{N}; P_j = \frac{N_j}{N}; \quad (5.20)$$

$$N_i = \sum_{j=1}^W N_{ij}; N_j = \sum_{i=1}^M N_{ij}; N = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij}$$

В (3.20) использованы обозначения:

$N_{ij}$  – суммарное количество наблюдений факта: "действовал  $i$ -й фактор и объект перешел в  $j$ -е состояние";

$N_j$  – суммарное количество встреч различных факторов у объектов, перешедших в  $j$ -е состояние;

$N_i$  – суммарное количество встреч  $i$ -го фактора у всех объектов;

$N$  – суммарное количество встреч различных факторов у всех объектов.

Подставим в выражение (5.19) значения для  $P_{ij}$  и  $P_j$  из (5.20):

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \frac{N_{ij}N}{N_i N_j} \quad (5.21)$$

Введем коэффициент эмерджентности  $\Psi$  в модифицированную формулу А.Харкевича:

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}N}{N_i N_j} \right)^\Psi \quad (5.22)$$

где:  $\Psi$  – коэффициент эмерджентности Харкевича (как будет показано выше, он определяет степень детерминированности объекта с уровнем системной организации  $\varphi$ , имеющего  $W$  чистых состояний, на переходы в которые оказывают влияние  $M$  факторов, о чем в модели накоплено  $N$  фактов).

Известно, что классическая формула Шеннона для количества информации для неравновероятных событий преобразуется в формулу Хартли при условии, что события равновероятны, т.е. удовлетворяет фундаментальному *принципу соответствия* [81].

*Естественно потребовать, чтобы и обобщенная формула Харкевича также удовлетворяла аналогичному принципу соответствия, т.е. преобразовывалась в формулу Хартли в предельном случае, когда каждому классу (состоянию объекта) соответствует один признак (фактор), и каждому признаку – один класс, и эти классы (а, значит и признаки), равновероятны.* Иначе говоря факторов столько же, сколько и будущих состояний объекта управления, все факторы детерминистские, а состояния объекта управления – альтернативные, т.е. каждый фактор однозначно определяет переход объекта управления в определенное состояние.

В этом предельном случае отпадает необходимость двухвекторного описания объектов, при котором 1-й вектор (классификационный) содержит интегральное описание объекта, как принадлежащего к определенным классам, а 2-й вектор (описательный) – дискретное его описание, как имеющего определенные атрибуты. Соответственно, двухвекторная модель, предложенная в данной работе, преобразуется в "вырожденный" частный случай – стандартную статистическую модель. В этом случае количество информации, содержащейся в признаке о принадлежности объекта к классу является *максимальным* и равным количеству информации, вычисляемому по системной формуле Хартли (59).

Таким образом при взаимно-однозначном соответствии классов и признаков:

$$\forall N_{ij} = N_i = N_j = 1 \quad (5.23)$$

формула А.Харкевича (5.13) приобретает вид:

$$I_{ij} = \text{Log}_2 N^\Psi = \text{Log}_2 W^\varphi \quad (5.24)$$

откуда:

$$\Psi = \frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N} \quad (5.25)$$

или, учитывая выражение для коэффициента эмерджентности Хартли (5.8):

$$\Psi = \frac{\text{Log}_2 W \frac{\sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log}_2 W}}{\text{Log}_2 N} \quad (3.26)$$

Смысл коэффициента эмерджентности Харкевича (5.25) проясняется, если учесть, что при количестве состояний системы  $W$  равном количеству фактов  $N$  о действии на эту систему различных факторов он равен 1. В этом случае факторы *однозначно* определяют состояния объекта управления, т.е. являются детерминистскими. Если же количество фактов  $N$  о действии на эту систему различных факторов превосходит количество ее состояний  $W$ , что является гораздо более типичным случаем, то этот коэффициент меньше 1. По-видимому, это означает, что в этом случае факторы как правило не однозначно (и не так жестко как детерминистские) определяют поведение объекта управления, т.е. являются статистическими.

Таким образом, *коэффициент эмерджентности Харкевича  $\Psi$  изменяется от 0 до 1 и определяет степень детерминированности системы:*

–  $\Psi=1$  соответствует полностью детерминированной системе, поведение которой однозначно определяется действием минимального количества факторов, которых столько же, сколько состояний системы;

–  $\Psi=0$  соответствует полностью случайной системе, поведение которой никак не зависит действия факторов независимо от их количества;

–  $0 < \Psi < 1$  соответствуют большинству реальных систем поведение которых зависит от многих факторов, число которых превосходит количество состояний системы, причем ни одно из состояний не определяется однозначно никакими сочетаниями действующих факторов (рисунок 5.7).

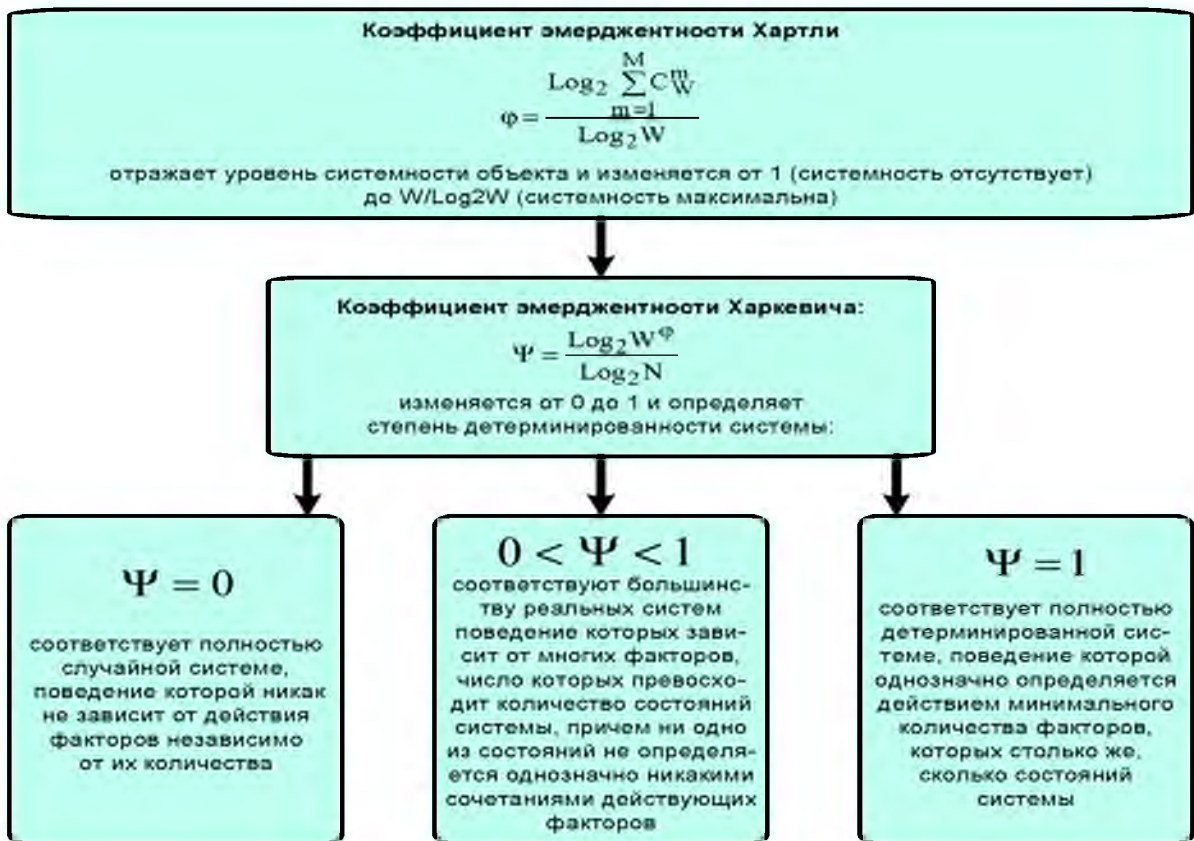


Рисунок 5.7 - Интерпретация коэффициентов эмерджентности СТИ

Из выражения (5.25) видно, что в частном случае, когда реализуются только чистые состояния объекта управления, т.е.  $M=1$ , коэффициент эмерджентности А.Харкевича приобретает вид:

$$\Psi = \frac{\text{Log}_2 W}{\text{Log}_2 N} \quad (5.27)$$

Подставив коэффициент эмерджентности А.Харкевича (5.25) в выражение (5.22), получим:

$$\begin{aligned} I_{ij} &= \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij} N}{N_i N_j} \right)^\Psi = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij} N}{N_i N_j} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}} = \\ &= \frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N} \left( \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_i N_j} \right) + \text{Log}_2 N \right) = \\ &= \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_i N_j} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}} + \text{Log}_2 W^\varphi \end{aligned}$$

или окончательно:

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_i N_j} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}} + \text{Log}_2 W^\varphi \quad (5.28)$$

Из вида выражения (5.25) для  $\Psi$  очевидно, что увеличение уровня системности влияет на семантическую информационную модель (3.28) аналогично повышению уровня детерминированности системы: **понижение уровня системности, также как и степени детерминированности системы приводит к ослаблению влияния факторов на поведение системы, т.е. к понижению управляемости системы за счет своего рода "инфляции факторов"**.

**Например:** управлять толпой из 1000 человек значительно сложнее, чем воздушно-десантным полком той же численности. Процесс превращения 1000 новобранцев в воздушно-десантный полк это и есть процесс повышения уровня системности и степени детерминированности системы. Этот процесс включает процесс иерархического структурирования (на отделения, взвода, роты, батальоны), а также процесс повышения степени детерминированности команд, путем повышения "степени беспрекословности" их исполнения. Оркестр, настраивающий инструменты, также весьма существенно отличается от оркестра, исполняющего произведение под управлением дирижера.

Необходимо отметить, что при повторном использовании *той же самой обучающей выборки* степень детерминированности модели уменьшается. Очевидно, с формальной математической точки зрения этого явления можно избежать, если перед расчетом информативностей признаков делить абсолютные частоты на количество объектов обучающей выборки.

С использованием выражения (5.28) непосредственно из матрицы абсолютных частот (таблица 5.6) рассчитывается **матрица информативностей** (таблица 5.7), содержащая связи между факторами и будущими состояниями АОУ и имеющая много различных интерпретаций и играющая основополагающую роль в данном исследовании.

Из рассмотрения основополагающего выражения (5.28) видно, что:

1. При выполнении условий взаимно-однозначного соответствия классов и признаков (5.23) первое слагаемое в выражении (3.28) обращается в ноль и при всех реальных значениях входящих в него переменных оно отрицательно.

2. Выражение (5.28) является нелинейной суперпозицией двух выражений: системного общения формулы Хартли (второе слагаемое), и первого слагаемого, которое *имеет вид* формулы Шеннона для плотности информации и отличается от него тем, что выражение под логарифмом находится в степени, которая совпадает с коэффициентом эмерджентности Харкевича, а также *способом взаимосвязи входящих в него абсолютных частот с вероятностями*.

Таблица 5.7 - Матрица информативностей



| Атрибуты                                                                                           | Классы - будущие состояния объекта управления |            |                         |            | Средняя детерминирующая мощность фактора |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------|-------------------------|------------|------------------------------------------|
|                                                                                                    | Целевые состояния                             |            | Нежелательные состояния |            |                                          |
|                                                                                                    | ***                                           | j          | ***                     | l          |                                          |
| Факторы, характеризующие текущее и прошлые состояния объекта управления, в т.ч. его рефлексивность | ***                                           |            |                         |            |                                          |
|                                                                                                    | r                                             | $I_{rj}$   |                         | $I_{rl}$   | $\sigma_r$                               |
| Управляющие факторы системы управления                                                             | ***                                           |            |                         |            |                                          |
|                                                                                                    | i                                             | $I_{ij}$   |                         | $I_{il}$   | $\sigma_i$                               |
| Факторы, характеризующие прошлые, текущее и прогнозируемые состояния окружающей среды              | ***                                           |            |                         |            |                                          |
|                                                                                                    | k                                             | $I_{kj}$   |                         | $I_{kl}$   | $\sigma_k$                               |
| Средняя детерминированность будущих состояний АОУ                                                  |                                               | $\sigma_j$ |                         | $\sigma_l$ |                                          |

Это дает основание предположить, что первое слагаемое в выражении (5.28) является одной из форм системного обобщения выражения Шеннона для плотности информации:

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_i N_j} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^{\varphi}}{\text{Log}_2 N}} \quad (5.29)$$

Поэтому вполне оправданным будет назвать степень в (5.29) коэффициентом эмерджентности Шеннона-Харкевича.

### Генезис системной (эмерджентной) теории информации

Полученное системное обобщение формулы Харкевича (3.28) учитывает как взаимосвязь между признаками (факторами) и будущими, в т.ч. целевыми состояниями объекта управления, так и мощность множества будущих состояний объекта управления. Кроме того она объединяет возможности интегрального и дискретного описания объектов, учитывает уровень системности и степень детерминированности описываемой системы (таблица 14):

Таблица 5.8 - соответствие требованиям формул "КТИ / СТИ"

|                              | Хартли     | Шеннон     | Харкевич   |
|------------------------------|------------|------------|------------|
| Мощность множества состояний | +/+        | -/-        | -/+        |
| Факторы                      | -/-        | +/+        | +/+        |
| Цель                         | -/-        | -/-        | +/+        |
| Уровень системности          | -/+        | -/+        | -/+        |
| Степень детерминированности  | -/-        | -/+        | -/+        |
| <b>Рейтинг</b>               | <b>1/2</b> | <b>1/3</b> | <b>2/5</b> |

При этом факторами являются управляющие факторы, т.е. управления со стороны системы управления, факторы окружающей среды, а также факторы, характеризующие текущее и прошлые состояния объекта управления. Все это делает полученное выражение (3.28) оптимальным по сформулированным критериям для целей построения содержательных



информационных моделей активных объектов управления и для применения для синтеза адаптивных систем управления (см. диаграмму: "Генезис системного обобщения формулы Харкевича для количества информации", рисунок 5.30).

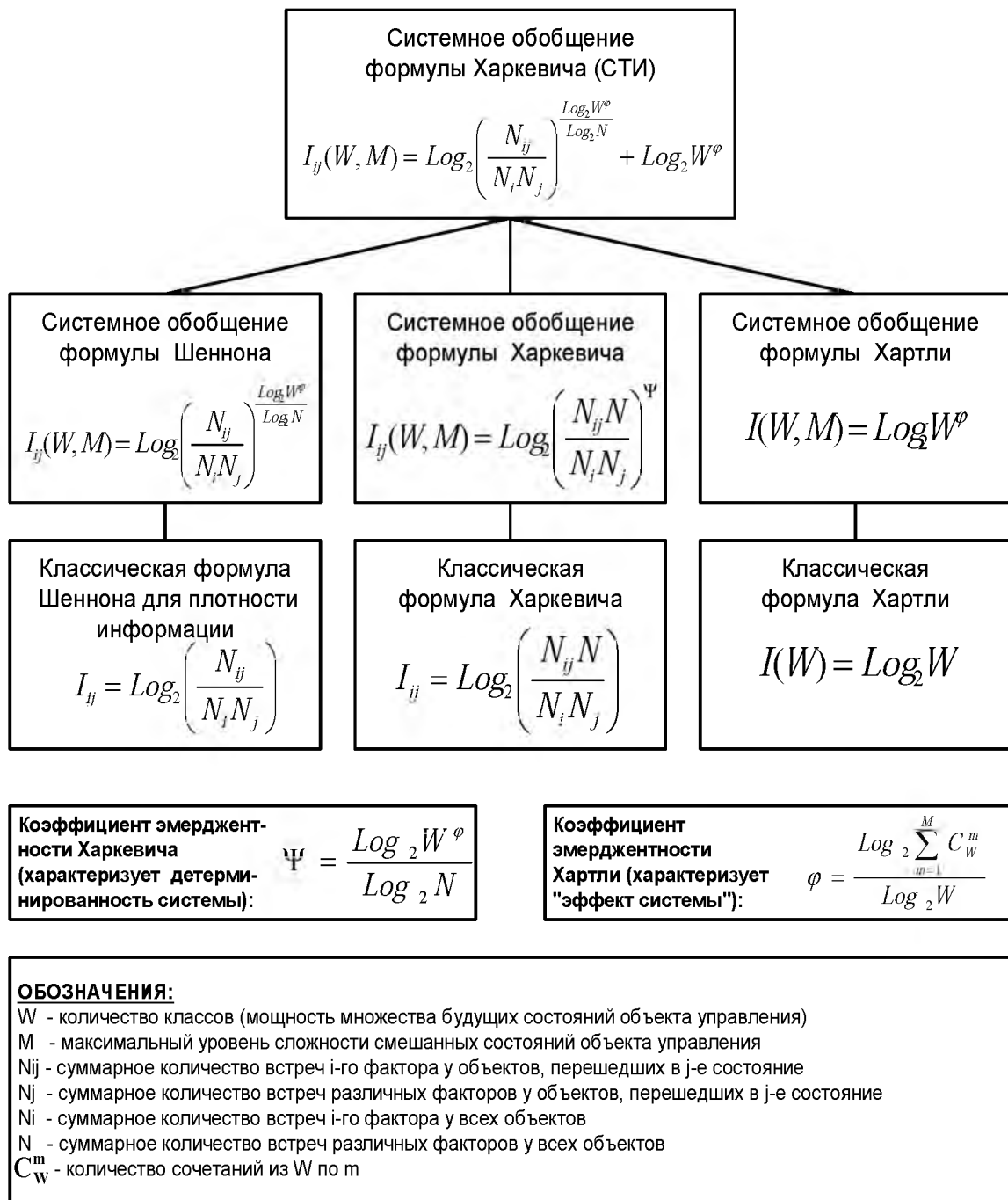


Рисунок 5.3 Генезис системной (эмерджентной) теории информации

Итак, различные выражения классической теории информации для количества информации: Хартли, Шеннона и Харкевича учитывают различные аспекты информационного моделирования объектов.

Полученное системное обобщение формулы А.Харкевича (5.28) учитывает как взаимосвязь между признаками (факторами) и будущими, в т.ч. целевыми состояниями объекта управления, так и мощность множества будущих состояний. Кроме того она объединяет возможности

*интегрального и дискретного описания объектов, учитывает уровень системности и степень детерминированности системы.*

Различие между классическим понятием информации и его предложенным системным обобщением определяется различием между понятиями множества и системы, на основе которых они сформированы. Система при этом рассматривается как множество элементов, объединенных определенными видами взаимодействия ради достижения некоторой общей цели.

*Все это делает полученное выражение (5.28) оптимальным по сформулированным критериям для целей построения содержательных информационных моделей активных объектов управления и для применения для синтеза рефлексивных АСУ активными объектами.*

### ***2.52.3 Семантическая информационная модель АСК-анализа***

Основная проблема, решаемая в аналитической модели: выбор способа вычисления весовых коэффициентов, отражающих степень и характер влияния факторов на переход активного объекта управления в различные состояния.

Основное отличие предлагаемого подхода от методов обобщения экспертных оценок состоит в том, что в предлагаемом подходе от экспертов требуется лишь само решение, а весовые коэффициенты автоматически подбираются в соответствии с моделью таким образом, что в сходных случаях будут приниматься решения, аналогичные предлагаемым экспертами. В традиционных подходах от экспертов требуют либо самих весовых коэффициентов, либо правил принятия решения (продукций).

#### ***2.4.2.3.1. Формализм динамики взаимодействующих семантических информационных пространств. Двухвекторное представление данных.***

Не всегда и не все классы являются атрибутами, также не всегда и не все атрибуты являются классами по смыслу (в данной модели это может быть так в многослойной нейронной сети) Поэтому традиционное представление данных в форме одной матрицы с одинаковыми строками и столбцами представляется нецелесообразным и предлагается более общее – двухвекторное представление. В предлагаемой математической модели формальное описание объекта представляет собой совокупность его интенционального и экстенционального описаний.

**Интенциональное** (дискретное) описание – это последовательность информативностей (но не кодов) тех и только тех признаков, которые реально фактически встретились у данного конкретного объекта.

**Экстенциональное** (континуальное) описание состоит из информативностей (но не кодов) тех классов распознавания, для формирования образов которых по мнению экспертов целесообразно использовать интенциональное описание данного конкретного объекта.

Именно взаимодействие и взаимная дополнительность этих двух взаимоисключающих видов описания объектов формирует то, что психологи, логики и философы называют "смысл".

Таким образом, формальное описание объекта в предлагаемой модели состоит из двух векторов. Первый вектор описывает к каким обобщенным категориям (классам распознавания) относится объект с точки зрения экспертов (вектор субъективной, смысловой, человеческой оценки). Второй же вектор содержит информацию о том, какими признаками обладает данный объект (вектор объективных характеристик). Необходимо особо подчеркнуть, что связь этих двух векторов друг с другом имеет вообще говоря не детерминистский, а вероятностный, статистический характер.

Если объект описан обоими векторами, то это описание можно использовать для формирования обобщенных образов классов распознавания, а также для проверки степени успешности выполнения этой задачи.

Если объект описан только вторым вектором – вектором признаков, то его можно использовать только для решения задачи распознавания (идентификации), **которую можно рассматривать как задачу восстановления вектора классов данного объекта по его известному вектору признаков.**

Предлагаемая модель удовлетворяет принципу соответствия, т.е. в ней одновекторный вариант описания предметной области получается как некоторое подмножество из возможных в ней вариантов, определяемое двумя ограничениями:

- справочник классов распознавания тождественно совпадает со справочником признаков;

- наличие какого-либо признака у объекта обучающей выборки однозначно (детерминистским образом) определяет принадлежность этого объекта к соответствующему классу распознавания (взаимно-однозначное соответствие классов и признаков).

Очевидно, эти ограничения приводят и к соответствующим ограничениям, накладываемым в свою очередь на варианты обработки информации и анализа данных в подобных системах.

Если говорить конкретнее, такая модель данных стирает различие между атрибутами и классами и не позволяет решать ряд задач, в которых эта абстракция является недопустимым упрощением. Эти задачи будут подробнее рассмотрены ниже.

#### Семантические пространства классов и атрибутов

Наглядно модель данных целесообразно представить себе в виде двух взаимосвязанных фазовых (т.е. абстрактных) пространств, в первом из которых осями координат служат шкалы атрибутов (пространство атрибутов), а во втором – шкалы классов (пространство классов).

В пространстве атрибутов векторами являются объекты обучающей выборки и обобщенные образы классов. Вектор класса представляет собой массив координат в фазовом пространстве, каждый элемент массива, т.е.

координата, соответствует определенному атрибуту, а значение этой координаты – **весовому коэффициенту**, отражающему количество информации, содержащееся в факте наблюдения данного атрибута у объекта о принадлежности этого объекта к данному классу.

В пространстве классов векторами являются атрибуты. Вектор атрибута представляет собой массив координат в фазовом пространстве, каждый элемент массива, т.е. координата, соответствует определенному классу, а значение этой координаты – **весовому коэффициенту**, отражающему количество информации, содержащееся в факте наблюдения объекта данного класса о том, что у этого объекта будет определенный атрибут.

Таким образом, выбор смысла и математической формы значений весовых коэффициентов в виде количества информации вводит метрику в этих фазовых пространствах. Поэтому данные пространства являются нелинейными самосогласованными пространствами. Ясно, что линейная разделяющая функция в нелинейном пространстве является нелинейной функцией в линейном пространстве. Самосогласованность семантических пространств означает, что любое изменение одной координаты в общем случае связано с изменением всех остальных. Нелинейность и самосогласованность самым существенным образом отличает предложенные семантические информационные пространства классов и атрибутов от линейного семантического пространства, используемого в основном в психодиагностике [38], в котором осями являются признаки (шкалы), а значениями координат по осям являются непосредственно градации признаков.

Однако этого недостаточно. Чтобы над векторами в фазовых пространствах можно было корректно выполнять стандартные операции сложения, вычитания, скалярного и векторного умножения, выполнять преобразования системы координат, переход от одной системы координат к другой, и вообще применять аппарат линейной алгебры и аналитической геометрии, что представляет большой научный и практический интерес и является очень актуальным, необходимо корректно ввести в этих пространствах системы координат т.е. системы отсчета, удовлетворяющие определенным требованиям.

Требования к системам координат, свойства векторов классов и атрибутов, решение проблемы снижения размерности описания и ортонормирования

В качестве осей координат пространства атрибутов целесообразно выбрать вектора атрибутов, обладающие следующими свойствами:

1. Их должно быть минимальное количество, достаточное для полного описания предметной области.
2. Эти вектора должны пересекаться в одной точке.
3. Значения координат вектора должны измеряться в одной единице измерения, т.е. должны быть сопоставимы.

Для выполнения первого требования необходимо, чтобы математическая форма и смысл весовых коэффициентов были выбраны таким образом, чтобы модули векторов атрибутов в пространстве классов были пропорциональны их значимости для решения задач идентификации, прогнозирования и управления. Причем наиболее значимые вектора атрибутов не должны коррелировать друг с другом, т.е. должны быть ортонормированными. В этом случае при удалении векторов с минимальными модулями автоматически останутся наиболее значимые практически ортонормированные вектора, которые можно принять за базисные, т.е. в качестве осей системы координат.

Второе требование означает, что минимальное расстояние между этими векторами в пространстве классов должно быть равно нулю.

Третье требование предполагает соответствующий выбор математической формы для значений координат.

Эти идеальные требования практически никогда не будут соблюдаться на практике с абсолютной точностью. Однако этого и не требуется. Достаточно, чтобы реально выбранные в качестве базисных атрибуты отображались в пространстве классов векторами, для которых эти требования выполняются с точностью, достаточной для применения соответствующих математических моделей и математического аппарата на практике.

Аналогично обстоит дело и с минимизацией размерности пространства классов. В качестве базисных могут выбраны вектора классов, имеющие максимальную длину и взаимно (попарно) ортонормированные.

Очевидно, задача выбора базисных векторов имеет не единственное решение, т.е. может существовать несколько систем таких векторов, которые можно рассматривать как результат действия преобразований системы координат, состоящих из смещений и поворотов.

#### *2.5.2.3.2 Применение классической теории информации К.Шеннона для расчета весовых коэффициентов и мер сходства*

Формально, распознавание есть не что иное, как принятие решения о принадлежности распознаваемого объекта или его состояния к определенному классу (классам) [12, 125, 221]. Из этого следует внутренняя и органичная связь методов распознавания образов и принятия решений. Аналитический обзор позволяет сделать вывод, что наиболее глубокая основа этой связи состоит в том, что и распознавание образов, и принятие решений есть прежде всего снятие неопределенности. Распознавание снимает неопределенность в вопросе о том, к какому классу относится распознаваемый объект. Если до распознавания существовала неопределенность в вопросе о том, к какому классу относится распознаваемый объект или его состояние, то в результате распознавания эта неопределенность уменьшается, причем возможно и до нуля (когда объект идентифицируется однозначно). Принятие решения (выбор) также снимает

неопределенность в вопросе о том, какое из возможных решений будет принято, если существовало несколько альтернативных вариантов решений и принимается одно из них.

Для строгого исследования процессов снятия неопределенности оптимальным является применение аппарата теории информации, которая как бы специально создана для этой цели. Из этого непосредственно следует возможность применения методов теории информации для решения задач распознавания и принятия решений в АСУ. Таким образом, теория информации может рассматриваться как единая основа методов распознавания образов и принятия решений.

#### **Формальная постановка задачи**

В рефлексивных АСУ активными объектами модели распознавания образов и принятия решений применимы в подсистемах идентификации состояния АОУ и выработки управляющего воздействия: идентификация состояния АОУ представляет собой принятие решения о принадлежности этого состояния к определенной классификационной категории (задача распознавания); выбор многофакторного управляющего воздействия из множества возможных вариантов представляет собой принятие решения (обратная задача распознавания).

Распознавание образов есть принятие решения о принадлежности объекта или его состояния к определенному классу. Если до распознавания существовала неопределенность в вопросе о том, к какому классу относится распознаваемый объект или его состояние, то в результате распознавания эта неопределенность уменьшается, в том числе может быть и до нуля (когда объект идентифицируется однозначно). Из данной постановки непосредственно следует возможность применения методов теории информации для решения задач распознавания образов и принятия решений в АСУ.

#### **Информация как мера снятия неопределенности**

Как было показано выше, теория информации применима в АСУ для решения задач идентификации состояния сложного объекта управления (задача распознавания) и принятия решения о выборе многофакторного управляющего воздействия (обратная задача распознавания).

*Так в результате процесса познания уменьшается неопределенность в наших знаниях о состоянии объекта познания, а в результате процесса труда (по сути управления) – уменьшается неопределенность поведения продукта труда (или объекта управления). В любом случае количество переданной информации представляет собой количественную меру степени снятия неопределенности.*

Процесс получения информации можно интерпретировать как изменение неопределенности в вопросе о том, от какого источника отправлено сообщение в результате приема сигнала по каналу связи. Подробно данная модель приведена в работе [81].

## Количество информации в индивидуальных событиях и лемма Неймана–Пирсона

В классическом анализе Шеннона идет речь лишь о передаче символов по одному информационному каналу от одного источника к одному приемнику. Его интересует прежде всего передача самого сообщения.

В данном исследовании ставится другая задача: **идентифицировать информационный источник по сообщению от него**. Поэтому метод Шеннона был обобщен путем учета в математической модели возможности существования многих источников информации, о которых к приемнику по зашумленному каналу связи приходят не отдельные символы–признаки, а **сообщения**, состоящие из последовательностей символов (признаков) любой длины.

Следовательно, ставится задача идентификации информационного источника по сообщению от него, полученному приемником по зашумленному каналу. Метод, являющийся обобщением метода К.Шеннона, позволяет применить классическую теорию информации для построения моделей систем распознавания образов и принятия решений, ориентированных на применение для синтеза адаптивных АСУ сложными объектами.

*Для решения поставленной задачи необходимо вычислять не средние информационные характеристики, как в теории Шеннона, а количество информации, содержащееся в конкретном  $i$ -м признаке (символе) о том, что он пришел от данного  $j$ -го источника информации. Это позволит определить и суммарное количество информации в сообщении о каждом информационном источнике, что дает интегральный критерий для идентификации или прогнозирования состояния АСУ.*

Логично предположить, что среднее количество информации, содержащейся в системе признаков о системе классов

$$I(Y, X) = \sum_{j=1}^W \sum_{i=1}^M p_{ij} \text{Log}_2 \frac{p_{ij}}{p_i p_j}, \quad (5.30)$$

является ничем иным, как усреднением (с учетом условной вероятности наблюдения) "индивидуальных количеств информации", которые содержатся в конкретных признаках о конкретных классах (источниках), т.е.:

$$i(x_j, y_i) = \text{Log}_2 \frac{p_{ij}}{p_i p_j}. \quad (5.31)$$

Это выражение определяет так называемую "плотность информации", т.е. количество информации, которое содержится в одном отдельно взятом факте наблюдения  $i$ -го символа (признака) на приемнике о том, что этот символ (признак) послан  $j$ -м источником.

Если в сообщении содержится  $M$  символов, то суммарное количество информации о принадлежности данного сообщения  $j$ -му информационному источнику (классу) составляет:

$$i(x_j) = \sum_{i=1}^M \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_i P_j}. \quad (5.32)$$

Необходимо отметить, что применение сложения в выражении (5.43) является вполне корректным и оправданным, так как информация с самого начала вводилась как аддитивная величина, для которой операция сложения является корректной.

Преобразуем выражение (3.50) к виду, более удобному для практического применения (численных расчетов). Для этого выразим вероятности встреч признаков через частоты их наблюдения:

$$P_{ij} = \frac{1}{N_{ij}}; P_i = \frac{1}{N_i}; P_j = \frac{1}{N_j}. \quad (5.33)$$

Подставив (3.44) в (3.25), получим:

$$i(x_j) = \sum_{i=1}^M \text{Log}_2 \frac{N_{ij}}{N_i N_j}. \quad (5.34)$$

Если ранжировать классы в порядке убывания суммарного количества информации о принадлежности к ним, содержащейся в данном сообщении (т.е. описании объекта), и выбирать первый из них, т.е. тот, о котором в сообщении содержится наибольшее количество информации, то мы получим обоснованную статистическую процедуру, основанную на классической теории информации, оптимальность которой доказывается в фундаментальной лемме Неймана–Пирсона [194].

*Сравнивая выражения (534) и (528) видим, что в системное обобщенное формулы Харкевича входит слагаемое, сходное с выражением Шеннона для плотности информации. Различия состоят в том, что в выражении (5.28) это слагаемое возведено в степень, имеющую смысл коэффициента эмерджентности Харкевича. Необходимо отметить, что значения частот в этих формулах связаны с вероятностями несколько различным образом (выражения 5.20 и 5.33).*

Если ранжировать классы в порядке убывания суммарного количества информации о принадлежности к ним, содержащейся в данном сообщении (т.е. описании объекта), и выбирать первый из них, т.е. тот, о котором в сообщении содержится наибольшее количество информации, то мы получим обоснованную статистическую процедуру, основанную на классической теории информации, оптимальность которой доказывается в фундаментальной лемме Неймана–Пирсона [194].

Таким образом, распознавание образов есть принятие решения о принадлежности объекта или его состояния к определенному классу. Если до распознавания существовала неопределенность в вопросе о том, к какому



классу относится распознаваемый объект или его состояние, то в результате распознавания эта неопределенность уменьшается, в том числе может быть и до нуля. Понятие информации может быть определено следующим образом: "Информация есть количественная мера степени снятия неопределенности". Количество информации является мерой соответствия распознаваемого объекта (его состояния) обобщенному образу класса.

Количество информации имеет ряд вполне определенных свойств. Эти свойства позволяют ввести понятие "количество информации в индивидуальных событиях", которое является весьма перспективным для применения в системах распознавания образов и поддержки принятия решений.

### *2.5.2.3.3 Математическая модель метода распознавания образов и принятия решений, основанного на системной теории информации*

#### **Формальная постановка основной задачи рефлексивной АСУ активными объектами и ее декомпозиция**

Рассмотрим некоторые основные понятия, необходимые для дальнейшего изложения. При этом будут использованы как литературные данные, так и результаты, полученные в предыдущих главах данной работы.

**Принятие решения в АСУ** – это выбор некоторого наиболее предпочтительного управляющего воздействия из исходного множества всех возможных управляющих воздействий, обеспечивающего наиболее эффективное достижение целей управления. В результате выбора неопределенность исходного множества уменьшается на величину информации, которая порождается самим актом выбора [81]. Следовательно, теория информации может быть применена как для идентификации состояний объекта управления, так и для принятия решений об управляющих воздействиях в АСУ.

Модель АСУ включает в себя: модель объекта управления, модель управляющей подсистемы, а также модель внешней среды. Управляющая подсистема реализует следующие функции: идентификация состояния объекта управления, выработка управляющего воздействия, реализация управляющего воздействия.

С позиций теории информации сложный объект управления (АОУ) может рассматриваться как шумящий (определенным образом) информационный канал, на вход которого подаются входные параметры  $X$ , представляющие собой управляющие воздействия, а также факторы предыстории и среды, а на выходе фиксируются выходные параметры  $Y$ , связанные как с входными параметрами, так и с целевыми и иными состояниями объекта управления.

Одной из основных задач АСУ является задача принятия решения о наиболее эффективном управляющем воздействии. В терминах теории информации эта задача формулируется следующим образом: *зная целевое*

состояние объекта управления, на основе его информационной модели определить такие входные параметры  $X^p$ , которые с учетом предыстории и актуального состояния объекта управления, а также влияния среды с наибольшей эффективностью переведут его в целевое состояние, характеризующееся выходными параметрами  $Y^p$ .

С решением этой задачи тесно связана задача декодирования теории информации: "По полученному в условиях помех сообщению определить, какое сообщение было передано" [221]. Для решения данной задачи используются коды, корректирующие ошибки, а в более общем случае, – различные методы распознавания образов.

Учитывая вышесказанное, предлагается рассматривать принятие решения об управляющем воздействии в АСУ как решение обратной задачи декодирования, которая формулируется следующим образом: "Какое сообщение необходимо подать на вход зашумленного канала связи, чтобы на его выходе получить заранее заданное сообщение". Данная задача решается на основе математической модели канала связи.

#### **Декомпозиция основной задачи в ряд частных подзадач**

Построение аналитической модели АОУ затруднено из-за отсутствия или недостатка априорной информации об объекте управления, а также из-за ограниченности и сложности используемого математического аппарата. В связи с этим предлагается путь решения данной проблемы, состоящий в поэтапном решении следующих задач:

**1–я задача:** разработать абстрактную модель более общего класса (содержательную информационную);

**2–я задача:** обучить абстрактную информационную модель путем учета информации о реальном поведении АОУ, поступающей в процессе экспериментальной эксплуатации АСУ; на этом этапе адаптируется и конкретизируется абстрактная модель АОУ, т.е. в ней все более точно отражаются взаимосвязи между входными параметрами и состояниями АОУ;

**3–я задача:** на основе конкретной содержательной информационной модели разработать алгоритмы решения следующих задач АСУ:

3.1. Расчет влияния факторов на переход АОУ в различные возможные состояния (обучение, адаптация).

3.2. Прогнозирование поведения АОУ при конкретном управляющем воздействии и выработка многофакторного управляющего воздействия (основная задача АСУ).

3.3. Выявление факторов, вносящих основной вклад в детерминацию состояния АОУ; контролируемое удаление второстепенных факторов с низкой дифференцирующей способностью, т.е. снижение размерности модели при заданных ограничениях.

3.4. Сравнение влияния факторов. Сравнение состояний АОУ.

Сформулируем предлагаемую абстрактную модель АОУ, опишем способ ее конкретизации и приведем алгоритмы решения задач адаптивных АСУ АОУ на основе данной модели.

**Решение задачи 1: "Синтез семантической информацион-ной модели активного объекта управления"**

Исходные данные для выявления взаимосвязей между факторами и состояниями объекта управления предлагается представить в виде корреляционной матрицы – матрицы абсолютных частот (таблица 5.6).

В этой матрице в качестве классов (столбцов) приняты будущие состояния объекта управления, как целевые, так и нежелательные, а в качестве атрибутов (строк) – факторы, которые разделены на три основных группы, математически обрабатываемые единообразно: факторы, характеризующие текущее и прошлые состояния объекта управления; управляющие факторы системы управления; факторы, характеризующие прошлые, текущее и прогнозируемые состояния окружающей среды. Отметим, что форма таблицы 5.6 является универсальной формой представления и обобщения *фактов – эмпирических данных* в единстве их дискретного и интегрального представления (причины – следствия, факторы – результирующие состояния, признаки – обобщенные образы классов, образное – логическое и т.п.).

Таблица 5.9 – Матрица абсолютных частот

| Атрибуты                                                                                           |       | Классы - будущие состояния объекта управления |                             |                         |                             |     | Сумма                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----|----------------------------------------|
|                                                                                                    |       | Целевые состояния                             |                             | Нежелательные состояния |                             |     |                                        |
|                                                                                                    |       | ***                                           | j                           | ***                     | l                           | *** |                                        |
| Факторы, характеризующие текущее и прошлые состояния объекта управления, в т.ч. его рефлексивность | ***   |                                               |                             |                         |                             |     |                                        |
|                                                                                                    | r     |                                               | $N_{rj}$                    |                         | $N_{rl}$                    |     | $N_r = \sum_{j=1}^W N_{rj}$            |
|                                                                                                    | ***   |                                               |                             |                         |                             |     |                                        |
| Управляющие факторы системы управления                                                             | i     |                                               | $N_{ij}$                    |                         | $N_{il}$                    |     | $N_i = \sum_{j=1}^W N_{ij}$            |
|                                                                                                    | ***   |                                               |                             |                         |                             |     |                                        |
|                                                                                                    | k     |                                               | $N_{kj}$                    |                         | $N_{kl}$                    |     | $N_k = \sum_{j=1}^W N_{kj}$            |
| Факторы, характеризующие прошлые, текущее и прогнозируемые состояния окружающей среды              | ***   |                                               |                             |                         |                             |     |                                        |
|                                                                                                    | Сумма |                                               | $N_j = \sum_{i=1}^M N_{ij}$ |                         | $N_l = \sum_{i=1}^M N_{il}$ |     | $N = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij}$ |

где:

$N_{ij}$  – количество встреч i-го признака у объектов j-го класса по данным обучающей выборки

Управляющие факторы объединяются в группы, внутри каждой из которых они альтернативны (несовместны), а между которыми – нет (совместны). В этом случае внутри каждой группы выбирают одно из доступных управляющих воздействий с максимальным влиянием. Варианты содержательной информационной модели без учета прошлых состояний объекта управления и с их учетом, аналогичны, соответственно, простым и составным цепям Маркова, автоматам без памяти и с памятью.

В качестве количественной меры влияния факторов, предложено использовать обобщенную формулу А.Харкевича (5.28), полученную на основе предложенной эмерджентной теории информации. При этом по формуле (5.28) непосредственно из матрицы абсолютных частот (таблица 5.9) рассчитывается матрица информативностей (таблица 5.10), которая и представляет собой основу содержательной информационно модели предметной области.

**Весовые коэффициенты таблицы 3.28 непосредственно определяют, какое количество информации  $I_{ij}$  система управления получает о наступлении события: "активный объект управления перейдет в  $j$ -е состояние", из сообщения: "на активный объект управления действует  $i$ -й фактор".**

Принципиально важно, что эти весовые коэффициенты не определяются экспертами неформализуемым способом, а рассчитываются непосредственно на основе эмпирических данных и удовлетворяют всем ранее сформулированным требованиям, т.е. являются сопоставимыми, содержательно интерпретируемыми, отражают понятия "достижение цели управления" и "мощность множества будущих состояний объекта управления" и т.д.

Таблица 5.10. – Матрица информативностей

| Атрибуты                                                                                           | Классы - будущие состояния объекта управления                                                                                          |                                                                                                                                        |                                                                                       |  | Средняя детерминирующая мощность фактора |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------|
|                                                                                                    | Целевые состояния                                                                                                                      |                                                                                                                                        | Нежелательные состояния                                                               |  |                                          |
| Факторы, характеризующие текущее и прошлые состояния объекта управления, в т.ч. его рефлексивность | $I_{ij} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{ij} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij}}{\sum_{i=1}^M N_{ij} \cdot \sum_{j=1}^W N_{ij}}$ | $I_{il} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{il} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{l=1}^W N_{il}}{\sum_{i=1}^M N_{il} \cdot \sum_{l=1}^W N_{il}}$ | $\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{W-1} \sum_{j=1}^W (I_{ij} - \bar{I}_i)^2}$                 |  |                                          |
| Управляющие факторы системы управления                                                             | $I_{ij} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{ij} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij}}{\sum_{i=1}^M N_{ij} \cdot \sum_{j=1}^W N_{ij}}$ | $I_{il} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{il} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{l=1}^W N_{il}}{\sum_{i=1}^M N_{il} \cdot \sum_{l=1}^W N_{il}}$ | $\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{W-1} \sum_{j=1}^W (I_{ij} - \bar{I}_i)^2}$                 |  |                                          |
| Факторы, характеризующие прошлые, текущее и прогнозируемые состояния окружающей среды              | $I_{kj} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{kj} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij}}{\sum_{i=1}^M N_{ij} \cdot \sum_{j=1}^W N_{kj}}$ | $I_{kl} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{kl} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{l=1}^W N_{il}}{\sum_{i=1}^M N_{il} \cdot \sum_{l=1}^W N_{kl}}$ | $\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{W-1} \sum_{j=1}^W (I_{kj} - \bar{I}_k)^2}$                 |  |                                          |
| Средняя детерминированность будущих состояний АОУ                                                  | $\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (I_{ij} - \bar{I}_j)^2}$                                                                  | $\sigma_l = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (I_{il} - \bar{I}_l)^2}$                                                                  | $H = \sqrt{\frac{1}{(W \cdot M - 1) \sum_{j=1}^W \sum_{l=1}^W (I_{jl} - \bar{I})^2}}$ |  |                                          |

$\bar{I}_j = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I_{ij}$  – среднее значение координат вектора класса, M – количество факторов.

$\bar{I}_l = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^M I_{il}$  – среднее значение координат вектора фактора, W – количество классов (будущих состояний АОУ).

$\bar{I} = \frac{1}{W \cdot M} \sum_{j=1}^W \sum_{l=1}^W I_{jl}$  – средняя информативность признаков по матрице информативностей.

$\varphi = \frac{\text{Log}_2 \sum_{i=1}^M C_i^W}{\text{Log}_2 W}$  – коэффициент эмерджентности Хартли.

$\Psi = \frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}$  – коэффициент эмерджентности Харкевича,

– средняя информативность признаков по матрице информативностей.

H – мера уровня системности предметной области в рамках СТИ

В данной работе показано, что предложенная информационная мера обеспечивает сопоставимость индивидуальных количеств информации, содержащейся в факторах о классах, а также сопоставимость интегральных

критериев, рассчитанных для одного объекта и разных классов, для разных объектов и разных классов.

Когда количество информации  $I_{ij} > 0$  –  $i$ -й фактор способствует переходу объекта управления в  $j$ -е состояние, когда  $I_{ij} < 0$  – препятствует этому переходу, когда же  $I_{ij} = 0$  – никак не влияет на это. В векторе  $i$ -го фактора (строка матрицы информативностей) отображается, какое количество информации о переходе объекта управления в каждое из будущих состояний содержится в том факте, что данный фактор действует. В векторе  $j$ -го состояния класса (столбец матрицы информативностей) отображается, какое количество информации о переходе объекта управления в соответствующее состояние содержится в каждом из факторов.

Таким образом, матрица информативностей (таблица 16) является обобщенной таблицей решений, в которой входы (факторы) и выходы (будущие состояния АОУ) связаны друг с другом не с помощью классических (Аристотелевских) импли-каций, принимающих только значения: "Истина" и "Ложь", а различными значениями истинности, выраженными в битах и принимающими значения от положительного теоретически-максимально-возможного ("Максимальная степень истинности"), до теоретически неограниченного отрицательного ("Степень ложности").

Фактически предложенная модель позволяет осуществить синтез обобщенных таблиц решений для различных предметных областей непосредственно на основе эмпирических исходных данных и продуцировать на их основе прямые и обратные правдоподобные (нечеткие) логические рассуждения по неклассическим схемам с различными расчетными значениями истинности, являющимся обобщением классических имплика-ций (таблица 5.11).

Таблица 5.11 – Прямые и обратные правдоподобные логические высказывания с расчетной (в соответствии с СТИ) и степенью истинности импликаций

|   | Прямые высказывания:                                                                                                                                                                                                                                                               | Обратные высказывания                                                                                                                                                                                                                                             |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | <b>если A, то B</b><br>(если действует фактор A, то мы предполагаем с степенью истинности $I_{AB}$ , что АОУ перейдет в состояние B)                                                                                                                                               | <b>если B, то A</b><br>(если АОУ перешел в состояние B, то мы предполагаем с степенью истинности $I_{AB}$ , что действовал фактор A)                                                                                                                              |
| 2 | <b>если A<sub>1</sub> и A<sub>2</sub> ... и A<sub>M</sub>, то B</b><br>(прогноз влияния системы факторов на поведение АОУ. Степень истинности обобщающей (итоговой) импликации равна алгебраической сумме истинностей составляющих ее элементарных импликаций вида: "если A то B") | <b>если B, то A<sub>1</sub> и A<sub>2</sub> ... и A<sub>M</sub></b><br>(информационный портрет класса B, т.е. влияние различных факторов A <sub>i</sub> на переход АОУ в будущее состояние B, решение обратной задачи прогнозирования, т.е. выработка управления) |
| 3 | <b>если A, то B<sub>1</sub> или B<sub>2</sub> ... или B<sub>W</sub></b><br>(семантический портрет фактора A, т.е. его влияние на переход АОУ в различные состояния)                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 4 | <b>если A<sub>1</sub> и A<sub>2</sub> ... и A<sub>M</sub>, то B<sub>1</sub> или B<sub>2</sub> ... или B<sub>W</sub></b><br>(прогноз влияния системы факторов на переход АОУ в различные состояния)                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                   |

Приведем пример более сложного высказывания, которое может быть рассчитано непосредственно на основе матрицы информативностей – обобщенной таблицы решений (таблица 5.11):

*Если  $A$ , со степенью истинности  $\alpha(A,B)$  детерминирует  $B$ , и если  $C$ , со степенью истинности  $\alpha(C,D)$  детерминирует  $D$ , и  $A$  совпадает по смыслу с  $C$  со степенью истинности  $\alpha(A,C)$ , то это вносит вклад в совпадение  $B$  с  $D$ , равный степени истинности  $\alpha(B,D)$ .*

При этом в прямых рассуждениях как предпосылки рассматриваются факторы, а как заключение – будущие состояния АОУ, а в обратных – наоборот: как предпосылки – будущие состояния АОУ, а как заключение – факторы. Степень истинности  $i$ -й предпосылки – это просто количество информации  $I_{ij}$ , содержащейся в ней о наступлении  $j$ -го будущего состояния АОУ. Если предпосылок несколько, то **степень истинности наступления  $j$ -го состояния АОУ равна суммарному количеству информации, содержащемуся в них об этом**. Количество информации в  $i$ -м факторе о наступлении  $j$ -го состояния АОУ, рассчитывается в соответствии с выражением (5.28) СТИ.

Прямые правдоподобные логические рассуждения позволяют *прогнозировать* степень достоверности наступления события по действующим факторам, а обратные – по заданному состоянию восстановить степень необходимости и степень нежелательности каждого фактора для наступления этого состояния, т.е. принимать решение по выбору *управляющих воздействий* на АОУ, оптимальных для перевода его в заданное целевое состояние.

Необходимо отметить, что предложенная модель, основывающаяся на теории информации, обеспечивает **автоматизированное формирование системы нечетких правил по содержимому входных данных**, как и комбинация нечеткой логики Заде-Коско с нейронными сетями Кохонена. Принципиально важно, что качественное изменение модели путем добавления в нее новых классов не уменьшает достоверности распознавания уже сформированных классов. Кроме того, при сравнении распознаваемого объекта с каждым классом учитываются не только признаки, имеющиеся у объекта, но и отсутствующие у него, поэтому *предложенной моделью правильно идентифицируются объекты, признаки которых образуют множества, одно из которых является подмножеством другого* (как и в Неокогнитроне К.Фукушимы) [243].

Данная модель позволяет прогнозировать поведение АОУ при воздействии на него не только одного, но и целой системы факторов:

$$I_j = f(\bigcup I_{ij}). \quad (5.35)$$

В теории принятия решений скалярная функция  $I_j$  векторного аргумента называется интегральным критерием. Основная проблема состоит в выборе такого аналитического **вида функции** интегрального критерия, который обеспечил бы эффективное решение сформулированной выше задачи АСУ.

Учитывая, что частные критерии (5.28) имеют смысл количества информации, а информация по определению является аддитивной функцией, предлагается ввести *интегральный критерий*, как аддитивную функцию от частных критериев в виде:

$$I_j = (\overset{P}{I}_{ij}, \overset{P}{L}_i). \quad (5.36)$$

В выражении (3.54) круглыми скобками обозначено скалярное произведение. В координатной форме это выражение имеет вид:

$$I_j = \sum_{i=1}^A I_{ij} L_i, \quad (5.37)$$

где:

$\overset{P}{I}_{ij} = \{I_{ij}\}$  – вектор  $j$ -го состояния объекта управления;

$\overset{P}{L}_i = \{L_i\}$  – вектор состояния предметной области, включающий все виды факторов, характеризующих объект управления, возможные управляющие воздействия и окружающую среду (массив–локатор), т.е.:

$$\overset{P}{L}_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й фактор действует;} \\ \alpha_i, & \text{где } 0 < \alpha_i < 1, \text{ если } i\text{-й фактор действует с истинностью } \alpha_i; \\ 0, & \text{если } i\text{-й фактор не действует.} \end{cases}$$

В реализованной модели значения координат вектора состояния ПО принимались равными либо 1 (фактор действует), либо 0 (фактор не действует).

Таким образом, **интегральный критерий** представляет собой суммарное количество информации, содержащееся в системе факторов различной природы (т.е. факторах, характеризующих объект управления, управляющее воздействие и окружающую среду) о переходе активного объекта управления в будущее (в т.ч. целевое или нежелательное) состояние.

В многокритериальной постановке задача прогнозирования состояния объекта управления, при оказании на него заданного многофакторного управляющего воздействия  $I_j$ , сводится к максимизации интегрального критерия:

$$j^* = \arg \max_{j \in J} (\overset{P}{I}_{ij}, \overset{P}{L}_i), \quad (5.38)$$

т.е. к выбору такого состояния объекта управления, для которого интегральный критерий максимален.

**Задача принятия решения** о выборе наиболее эффективного управляющего воздействия является *обратной задачей* по отношению к задаче максимизации интегрального критерия (идентификации и прогнозирования), т.е. вместо того, чтобы по набору факторов прогнозировать будущее состояние АОУ, наоборот, по заданному (целевому)

состоянию АОУ определяется такой набор факторов, который с наибольшей эффективностью перевел бы объект управления в это состояние.

Предлагается еще одно обобщение этой фундаментальной леммы, основанное на косвенном учете корреляций между информативностями в векторе состояний при использовании средних по векторам. Соответственно, вместо простой суммы количеств информации предлагается использовать корреляцию между векторами состояния и объекта управления, которая количественно измеряет степень сходства этих векторов:

$$I_j = \frac{1}{\sigma_j \sigma_1 A} \sum_{i=1}^M (I_{ij} - \bar{I}_j) (L_i - \bar{L}), \quad (3.39)$$

где:

$\bar{I}_j$  – средняя информативность по вектору класса;

$\bar{L}$  – среднее по вектору идентифицируемой ситуации (объекта).

$\sigma_j$  – среднеквадратичное отклонение информативностей вектора класса;

$\sigma_1$  – среднеквадратичное отклонение по вектору распознаваемого объекта.

Выражение (3.39) получается непосредственно из (3.37) после замены координат перемножаемых векторов их стандартизированными значениями:

$$I_{ij} \rightarrow \frac{I_{ij} - \bar{I}_j}{\sigma_j}, \quad L_i \rightarrow \frac{L_i - \bar{L}}{\sigma_1}. \quad (5.40)$$

Необходимо отметить, что выражение для интегрального критерия сходства (5.39) по своей математической форме является корреляцией двух векторов. Это означает, что если эти вектора являются суммой двух сигналов: полезного и белого шума, то при расчете интегрального критерия белый шум практически не будет играть никакой роли, т.е. его корреляция с самими собой равна нулю по определению. Это означает, что **выбранный интегральный критерий сходства является высокоэффективным средством подавления белого шума и выделения полезной информации из шума**, который неизбежно присутствует в эмпирических данных.

*Результат прогнозирования поведения объекта управления, описанного данной системой факторов, представляет собой список его возможных будущих состояний, в котором они расположены в порядке убывания суммарного количества информации о переходе объекта управления в каждое из них.*

Сравнения результатов идентификации и прогнозирования с опытными данными, с использованием выражений (3.37) и (3.39), показали, что при малых выборках они практически не отличаются, но при увеличении объема выборки до 400 и более (независимо от предметной области) выражение (3.39) дает погрешность идентификации (прогнозирования) на 5% – 7%



меньше, чем (3.37). Поэтому в предлагаемой модели фактически используется не метрическая мера сходства (3.39).

В связи с тем, что в дальнейшем изложении широко применяются понятия теории АСУ, теории информации (связи), теории распознавания образов и методов принятия решений, приведем таблицу соответствия наиболее часто используемых нами терминов из этих научных направлений, имеющих сходный смысл (таблица 18):

Таблица 7 – Соответствие терминов различных научных направлений

| Теория автоматизированного управления      | Теория распознавания образов                            | Методы принятия решений   | Теория информации (связи)             |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Фактор                                     | Признак                                                 | Критерий                  | Входной сигнал                        |
| Состояние объекта управления               | Класс распознавания                                     | Альтернатива              | Информационный источник               |
| Идентификация состояния объекта управления | Распознавание                                           | Принятие (синтез) решения | Декодирование                         |
| Выработка управляющего воздействия         | Решение обратной задачи распознавания (прогнозирования) | Анализ решения            | Решение обратной задачи декодирования |

Вывод системного обобщения формулы Харкевича (5.28) приведен в разделе 5.1 данной работы. Чрезвычайно важное для данного исследования выражение (5.28) заслуживает специального комментария. Прежде всего нельзя не обратить внимания на то, что оно *по своей математической форме, т.е. формально, ничем не отличается от выражения для превышения сигнала над помехой для информационного канала* [242]. Из этого, на первый взгляд, внешнего совпадения следует интересная интерпретация выражения (5.28). А именно: можно считать, что обнаружив некоторый *i*-й признак у объекта, предъявленного на распознавание, мы тем самым получаем сигнал, содержащий некоторое количество информации

$$D_{ij} = \text{Log}_2 P_{ij} \quad (5.41)$$

о том, что этот объект принадлежит к *j*-му классу. По-видимому, это так и есть, однако чтобы оценить насколько много или мало этой информации нами получено, ее необходимо с чем-то сравнить, т.е. необходимо иметь точку отсчета или базу для сравнения. В качестве такой базы естественно принять среднее по всем признакам количество информации, которое мы получаем, обнаружив этот *j*-й класс:

$$\bar{I}_j = \text{Log}_2 P_j. \quad (5.42)$$

Иначе говоря, если при предъявлении какого-либо объекта на распознавание у него обнаружен *i*-й признак, то для того, чтобы сделать из этого факта обоснованный вывод о принадлежности этого объекта к тому или иному классу, необходимо знать и учесть, насколько часто вообще (т.е. в среднем) обнаруживается этот признак при предъявлении объектов данного класса.

Фактически это среднее количество информации можно рассматривать как некоторый "информационный шум", который имеется в данном признаке и не несет никакой полезной информации о принадлежности объектов к тем или иным классам. Полезной же информацией является степень отличия от этого шума. Таким образом классическому выражению Харкевича (3.12) для семантической целесообразности информации может быть придан более привычный для теории связи вид:

$$I_{ij} = \text{Log}P_{ij} - \text{Log}P_j = D_{ij} - \bar{I}_j, \quad (5.43)$$

который интерпретируется как *вычитание шума из полезного сигнала*. Эта операция является совершенно стандартной в системах шумоподавления.

*Если полезный сигнал выше уровня шума, то его обнаружение несет информацию в пользу принадлежности объекта к данному классу, если нет – то, наоборот, в пользу не принадлежности.*

Возвращаясь к выражению (3.12), необходимо отметить, что сам А.А.Харкевич рассматривал  $P_{ij}$  как вероятность достижения цели, при условии, что система получила информацию  $I_{ij}$ , а  $P_j$  – как вероятность ее достижения при условии, что система этой информации не получала. Очевидно, что фактически  $P_j$  соответствует вероятности случайного угадывания объектом управления правильного пути к цели, или, что тоже самое, вероятности самопроизвольного, т.е. без оказания управляющих воздействий, достижения АОУ целевого заданного состояния.

Необходимо отметить также, что каждый признак объекта управления как канала связи может быть охарактеризован динамическим диапазоном, равным разности максимально возможного (допустимого) уровня сигнала в канале и уровня помех в логарифмическом масштабе:

$$I_{ij \max} = \text{Log}P_{ij \max} - \text{Log}P_j = \text{Log}(P_{ij \max} / P_j). \quad (5.44)$$

Максимальное количество информации, которое может содержаться в признаке, полностью определяется количеством классов распознавания  $W$  и равно количеству информации по Хартли:  $I = \text{Log}_2 W$ .

Динамический диапазон признака является количественной мерой его полезности (ценности) для распознавания, но все же предпочтительней для этой цели является *среднее количество полезной для классификации информации в признаке*, т.е. исправленное выборочное среднеквадратичное отклонение информативностей:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{W-1} \sum_{j=1}^W (I_{ij} - \bar{I}_i)^2}. \quad (5.40)$$

Очевидна близость этой меры к **длине вектора признака** в семантическом пространстве атрибутов:

$$d_i = \sqrt[2]{\sum_{j=1}^W I_{ij}^2} \quad (3.41)$$

В сущности выражение (3.45) просто представляет собой **нормированный** вариант (3.46).

### **Решение задачи 2: "Адаптация модели объекта управления"**

На основе обучающей выборки, содержащей информацию о том, какие факторы действовали, когда АОУ переходил в те или иные состояния, методом прямого счета формируется матрица абсолютных частот, имеющая вид, представленный в таблице 15. Необходимо отметить, что в случае АОУ в большинстве случаев нет возможности провести полный факторный эксперимент для заполнения матрицы абсолютных частот. В данной работе предполагается, что это и не обязательно, т.е. на практике достаточно воспользоваться *естественной вариабельностью* факторов и состояний АОУ, представленных в обучающей выборке. *С увеличением объема обучающей выборки в ней со временем будут представлены все практически встречающиеся варианты сочетаний факторов и состояний АОУ.*

В соответствии с выражением (528), непосредственно на основе матрицы абсолютных частот  $\|N_i^j\|$  (таблица 5.9) рассчитывается матрица информативностей факторов  $\|I_i^j\|$  (таблица 5.6).

*Количество информации в  $i$ -м факторе о наступлении  $j$ -го состояния АОУ является статистической мерой их связи и количественной мерой влияния данного фактора на переход АОУ в данное состояние.*

### **Решение задачи 3: "Разработка алгоритмов решения основных задач АСУ"**

Как было показано в разделе 3.2, решение задачи 3 предполагает решение следующих подзадач.

**Решение подзадачи 3.1: "Расчет влияния факторов на переход объекта управления в различные состояния (обучение, адаптация)"**

При изменении объема обучающей выборки или изменении экспертных оценок прежде всего пересчитывается матрица абсолютных частот, а затем, на ее основании и в соответствии с выражением (3.28), – матрица информативностей. Таким образом, *предложенная модель обеспечивает отображение динамических взаимосвязей, с одной стороны, между входными и выходными параметрами, а с другой, – между параметрами и состояниями объекта управления.* Конкретно, это отображение осуществляется в форме так называемых векторов факторов и состояний.

В профиле (векторе)  $i$ -го фактора (строка матрицы информативностей) отображается, какое количество информации о переходе АОУ в каждое из возможных состояний содержится в том факте, что данный фактор действует.

В профиле (векторе)  $j$ -го состояния АОУ (столбец матрицы информативностей) отображается, какое количество информации о переходе АОУ в данное состояние содержится в каждом из факторов.

**Решение подзадачи 3.2:** "Прогнозирование поведения объекта управления при конкретном управляющем воздействии и выработка многофакторного управляющего воздействия (обратная задача прогнозирования)"

**Прогнозирование состояния** АОУ осуществляется следующим образом:

1. Собирается информация о действующих факторах, характеризующих состояние предметной области (активный объект управления описывается факторами, характеризующими его текущее и прошлые состояния; управляющая система характеризуется технологическими факторами, с помощью которых она оказывает управляющее воздействие на активный объект управления; окружающая среда характеризуется прошлыми, текущими и прогнозируемыми факторами, которые также оказывают воздействие на активный объект управления).

2. Для каждого возможного будущего состояния АОУ подсчитывается суммарное количество информации, содержащееся во всей системе факторов (согласно п.1), о наступлении этого состояния.

3. Все будущие состояния АОУ ранжируются в порядке убывания количества информации об их осуществлении.

Этот ранжированный список будущих состояний АОУ и представляет собой первичный результат прогнозирования.

Если задано некоторое определенное целевое состояние, то выбор **управляющих воздействий** для фактического применения производится из списка, в котором все возможные управляющие воздействия расположены в порядке убывания их влияния на перевод АОУ в данное целевое состояние. Такой список называется информационным портретом состояния АОУ [81].

Управляющие воздействия могут быть объединены в группы, внутри каждой из которых они альтернативны (несовместны), а между которыми – нет (совместны). В этом случае внутри каждой группы выбирают одно из фактически доступных управляющих воздействий с максимальным влиянием на достижение заданного целевого состояния АОУ.

Однако выбор многофакторного управляющего воздействия нельзя считать завершенным без прогнозирования результатов его применения. Описание АОУ в актуальном состоянии состоит из списка факторов окружающей среды, предыстории АОУ, описания его актуального (исходного) состояния, а также выбранных управляющих воздействий. Имея эту информацию по каждому из факторов в соответствии с выражением (3.39), нетрудно подсчитать, какое количество информации о переходе в каждое из состояний содержится суммарно во всей системе факторов. Данный метод соответствует фундаментальной лемме Неймана–Пирсона, содержащей доказательство оптимальности метода выбора той из двух статистических гипотез, о которой в системе факторов содержится больше

информации. В то же время он является обобщением леммы Неймана–Пирсона, так как вместо информационной меры Шеннона используется системное обобщение семантической меры целесообразности информации Харкевича.

Предлагается еще одно обобщение этой фундаментальной леммы, основанное на косвенном учете корреляций между информативностями в профиле состояния при использовании среднего по профилю. Соответственно, вместо простой суммы количеств информации предлагается использовать ковариацию между векторами состояния и АОУ, которая количественно измеряет степень сходства формы этих векторов.

*Результат прогнозирования поведения АОУ, описанного данной системой факторов, представляет собой список состояний, в котором они расположены в порядке убывания суммарного количества информации о переходе АОУ в каждое из них.*

Решение подзадачи 3.3: "Выявление факторов, вносящих основной вклад в детерминацию состояния АОУ; снижение размерности модели при заданных ограничениях"

Естественно считать, что некоторый фактор является тем более ценным, чем больше среднее количество информации, содержащееся в этом факторе о поведении АОУ [81]. Но так как в предложенной модели количество информации может быть и отрицательным (если фактор уменьшает вероятность перехода АОУ в некоторое состояние), то простое среднее арифметическое информативностей может быть близко к нулю. При этом среднее будет равно нулю и в случае, когда все информативности равны нулю, и тогда, когда они будут велики по модулю, но с разными знаками. Следовательно, более адекватной оценкой полезности фактора является среднее модулей или, что наиболее точно, исправленное (несмещенное) среднеквадратичное отклонение информативностей по профилю признака.

Ценность фактора по сути дела определяется его полезностью для различения состояний АОУ, т.е. является его дифференцирующей способностью или селективностью.

Необходимо также отметить, что различные состояния АОУ обладают различной степенью обусловленности, т.е. в различной степени детерминированы факторами: некоторые слабо зависят от учетных факторов, тогда как другие определяются ими практически однозначно. *Количественно детерминируемость состояния АОУ предлагается оценивать стандартным отклонением информативностей вектора обобщенного образа данного состояния.*

Предложено и реализовано несколько итерационных алгоритмов корректного удаления малозначимых факторов и слабодетерминированных состояний АОУ при заданных граничных условиях [81]. *Решение задачи снижения размерности модели АОУ при заданных граничных условиях позволяет снизить эксплуатационные затраты и повысить эффективность РАСУАО.*

**Решение подзадачи 3.4:** "Сравнение влияния факторов. Сравнение состояний объекта управления"

Факторы могут сравниваться друг с другом по тому влиянию, которое они оказывают на поведение АОУ. Сами состояния могут сравниваться друг с другом по тем факторам, которые способствуют или препятствуют переходу АОУ в эти состояния. Это сравнение может содержать лишь результат, т.е. различные степени сходства/различия (в кластерном анализе), или содержать также причины этого сходства/различия (в когнитивных диаграммах).

Эти задачи играют важную роль в теории и практике РАСУ АО при необходимости замены одних управляющих воздействий другими, но аналогичными по эффекту, а также при изучении вопросов семантической устойчивости управления (различимости состояний АОУ по детерминирующим их факторам).

Этот анализ проводится над классами распознавания и над признаками. Он включает: информационный (ранговый) анализ; кластерный и конструктивный анализ, семантические сети; содержательное сравнение информационных портретов, когнитивные диаграммы.

*Семантический информационный анализ*

Предложенная математическая модель позволяет сформировать информационные портреты обобщенных эталонных образов классов распознавания и признаков.

Портреты классов распознавания представляют собой списки признаков в порядке убывания содержащегося в них количества информации о принадлежности к этим классам.

Информационный портрет класса распознавания показывает нам, каков информационный вклад каждого признака в общий объем информации, содержащейся в обобщенном образе этого класса.

В подходе к решению задач рефлексивных АСУ АО, основанном на применении методов распознавания образов, классам распознавания соответствуют, во-первых, исходные, а во-вторых, результирующие, в том числе целевые состояния объекта управления. Это значит, что в первом случае портреты классов используются для идентификации исходного состояния АОУ, потому что именно с ними сравнивается состояние объекта управления, а во втором – для выработки управляющего воздействия, так как его выбирают в форме суперпозиции неальтернативных факторов из информационного портрета целевого состояния, оказывающих наибольшее влияние на перевод АОУ в это состояние.

Портреты признаков представляют собой списки классов распознавания в порядке убывания количества информации о них, которое содержит данный признак. По своей сути информационный портрет признака раскрывает нам смысл данного признака, т.е. его семантическую нагрузку. *В теории и практике рефлексивных АСУ АО информационный портрет фактора является развернутой количественной характеристикой, содержащей информацию о силе и характере его влияния на перевод АОУ в*

*каждое из возможных результирующих состояний, в том числе в целевые.* Информационные портреты классов и признаков допускают наглядную графическую интерпретацию в виде двухмерных (2d) и трехмерных (3d) диаграмм.

#### *Кластерно-конструктивный анализ и семантические сети*

Кластеры представляют собой такие группы классов распознавания (или признаков), внутри которых эти классы наиболее схожи друг с другом, а между которыми наиболее различны [81]. В данной работе, в качестве классов распознавания рассматриваются как исходные, так и результирующие, в том числе целевые состояния объекта управления, а в качестве признаков – факторы, влияющие на переход АОУ в результирующие состояния.

Исходные состояния АОУ, объединенные в кластер, характеризуются общими или сходными методами перевода в целевые состояния. Результирующие состояния АОУ, объединенные в кластер, являются слабо различимыми по факторам, детерминирующим перевод АОУ в эти состояния. Это означает, что одно и то же управляющее воздействие при одних и тех же предпосылках (исходном состоянии и предыстории объекта управления и среды) могут привести к переводу АОУ в одно из результирующих состояний, относящихся к одному кластеру. Поэтому кластерный анализ результирующих состояний АОУ является инструментом, позволяющим изучать вопросы устойчивости управления сложными объектами.

При выборе управляющего воздействия как суперпозиции неальтернативных факторов часто возникает вопрос о замене одних управляющих факторов другими, имеющими сходное влияние на перевод АОУ из данного текущего состояния в заданное целевое состояние. Кластерный анализ факторов как раз и позволяет решить эту задачу: при невозможности применить некоторый управляющий фактор его можно заменить другим фактором из того же кластера.

При формировании кластеров используются матрицы сходства объектов и признаков, формируемые на основе матрицы информативностей.

В соответствии с предлагаемой математической моделью могут быть сформированы кластеры для заданного диапазона кодов классов распознавания (признаков) или заданных диапазонов уровней системной организации с различными критериями включения объекта (признака) в кластер.

Эти критерии могут быть сформированы автоматически либо заданы непосредственно. В последнем уровне кластеризации, в частности при задании одного уровня, в кластеры включаются не только похожие, но и все непохожие объекты (признаки), и, таким образом, формируются конструкты классов распознавания и признаков.

В данной работе под конструктом понимается система противоположных (наиболее сильно отличающихся) кластеров, которые называются "полюсами" конструкта, а также спектр промежуточных

кластеров, к которым применима количественная шкала измерения степени их сходства или различия [81].

Понятия "кластер" и "конструкт" тесно взаимосвязаны:

– так как положительный и отрицательный полюса конструкта представляют собой кластеры, в наибольшей степени отличающиеся друг от друга, то **конструкты могут быть получены как результат кластерного анализа кластеров;**

– конструкт может рассматриваться как кластер с нечеткими границами, включающий в различной степени, причем не только в положительной, но и отрицательной, все классы (признаки).

В теории рефлексивных АСУ АО, конструктивный анализ позволяет решить такие задачи, как:

1. Определение в принципе совместимых и в принципе несовместимых целевых состояний АОУ. Совместимыми называются целевые состояния, для достижения которых необходимы сходные предпосылки и управляющие воздействия, а несовместимыми – для которых они должны быть диаметрально противоположными. Например, обычно сложно совмещаются такие целевые состояния, как очень высокое качество продукции и очень большое ее количество.

2. Определение факторов, имеющих не только сходное (это возможно и на уровне кластерного анализа), но и совершенно противоположное влияние на поведение сложного объекта управления.

Современный интеллект имеет дуальную структуру и, по сути дела, мыслит в системе кластеров и конструктов. Поэтому инструмент автоматизированного кластерно–конструктивного анализа может быть успешно применен для рефлексивного управления активными объектами.

***Необходимо отметить,** что формирование кластеров затруднено из-за проблемы комбинаторного взрыва, так как требует полного перебора и проверки "из  $n$  по  $m$ " сочетаний элементов (классов или признаков) в кластеры. Конструкты же формируются непосредственно из матрицы сходства прямой выборкой и сортировкой, что значительно проще в вычислительном отношении, так как конструктов значительно меньше, чем кластеров (всего  $n^2$ ). Поэтому учитывая, что *при формировании конструктов автоматически формируются и их полюса, т.е. кластеры, в предложенной математической модели реализован не кластерный анализ, а сразу конструктивный (как более простой в вычислительном отношении и более ценный по получаемым результатам).**

Диаграммы смыслового сходства–различия классов (признаков) соответствуют определению семантических сетей [81], т.е. представляют собой ориентированные графы, в которых признаки соединены линиями, соответствующими их смысловому сходству–различию.

*Когнитивные диаграммы классов и признаков*

В предложенной в настоящем исследовании математической модели в обобщенной постановке реализована возможность содержательного



сравнения обобщенных образов классов распознавания и признаков, т.е. построения когнитивных диаграмм [81].

*В информационных портретах классов* распознавания мы видим, какое количество информации о принадлежности (или не принадлежности) к данному классу мы получаем, обнаружив у некоторого объекта признаки, содержащиеся в информационном портрете. В кластерно-конструктивном анализе мы получаем результаты сравнения классов распознавания друг с другом, т.е. мы видим, насколько они сходны и насколько отличаются. *Но мы не видим, какими признаками они похожи и какими отличаются, и какой вклад каждый признак вносит в сходство или различие некоторых двух классов.*

Эту информацию мы могли бы получить, если бы проанализировали и сравнили два информационных портрета. Эту работу и осуществляет режим содержательного сравнения классов распознавания.

Аналогично, *в информационных портретах признаков* мы видим, какое количество информации о принадлежности (или не принадлежности) к различным классам распознавания мы получаем, обнаружив у некоторого объекта данный признак. В кластерно-конструктивном анализе мы получаем результаты сравнения признаков друг с другом, т.е. мы видим, насколько они сходны и насколько отличаются. *Но мы не видим, какими классами они похожи и какими отличаются, и какой вклад каждый класс вносит в смысловое сходство или различие некоторых двух признаков.*

Эту информацию мы могли бы получить, если бы проанализировали и сравнили информационные портреты двух признаков. Эту работу и осуществляет режим содержательного (смыслового) сравнения признаков.

*Содержательное (смысловое) сравнение классов*

Обобщим математическую модель, предложенную и развиваемую в данной главе, на случай содержательного сравнения двух классов распознавания: J-го и L-го.

Признаки, которые есть по крайней мере в одном из классов, будем называть связями, так как благодаря тому, что они либо тождественны друг другу, либо между ними имеется определенное сходство или различие по смыслу, они вносят определенный вклад в отношения сходства/различия между классами.

Список выявленных связей сортируется в порядке убывания модуля силы связи, причем учитывается не более заданного количества связей.

Пусть, например:

у J-го класса обнаружен  $i$ -й признак,

у L-го класса обнаружен  $k$ -й признак.

Используем те же обозначения, что и в разделе 3.1.

На основе обучающей выборки системой рассчитывается матрица абсолютных частот встреч признаков по классам (таблица 15).

В разделе 3.1. получено выражение (3.28) для расчета количества информации в  $i$ -м признаке о принадлежности некоторого конкретного объекта к  $j$ -му классу (плотность информации), которое имеет вид:

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_i N_j} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}} + \text{Log}_2 W^\varphi \quad (5.47)$$

Аналогично, формула для количества информации в  $k$ -м признаке о принадлежности к  $L$ -му классу имеет вид:

$$I_{kl} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{kl}}{N_k N_l} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}} + \text{Log}_2 W^\varphi \quad (3.42)$$

Вклад некоторого признака  $i$  в сходство/различие двух классов  $j$  и  $l$  равен соответствующему слагаемому корреляции образов этих классов, т.е. просто произведению информативностей

$$R_{jl} = (I_{ij} - \bar{I}_j)(I_{il} - \bar{I}_l). \quad (3.43)$$

**Классический коэффициент корреляции Пирсона**, количественно определяющий степень сходства векторов двух классов:  $j$  и  $l$ , на основе учета вклада каждой связи, образованной  $i$ -м признаком, рассчитывается по формуле

$$K_{jl} = \frac{1}{MS_j S_l} \sum_{i=1}^M (I_{ij} - \bar{I}_j)(I_{il} - \bar{I}_l), \quad (3.50)$$

где:

$$\bar{I}_j = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I_{ij} \quad \text{— средняя информативность признаков } j\text{-го класса;}$$

$$\bar{I}_l = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I_{il} \quad \text{— средняя информативность признаков } l\text{-го класса;}$$

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (I_{ij} - \bar{I}_j)^2}{M-1}} \quad \text{— среднее квадратичное отклонение информативностей признаков } j\text{-го класса;}$$

$$S_l = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (I_{il} - \bar{I}_l)^2}{M-1}} \quad \text{— среднее квадратичное отклонение информативностей признаков } l\text{-го класса.}$$

Проанализируем, насколько классический коэффициент корреляции Пирсона (3.50) пригоден для решения важных задач:

- содержательного сравнения классов;
- изучения внутренней многоуровневой структуры класса.

Упростим анализ, считая, что средние информативности признаков по обоим классам близки к нулю, что при достаточно больших выборках (более 400 примеров в обучающей выборке) практически близко к истине.

Каждое слагаемое (5.47) суммы (3.50) отражает связь между классами, образованную одним  $i$ -м признаком.  $I$ -я связь существует в том и только в том случае, если  $i$ -й признак есть у обоих классов. Поэтому эти связи уместно называть одно–однозначными.

Этот подход можно назвать классическим для когнитивного анализа. Рассмотрим когнитивную диаграмму, приведенную на стр. 222 работы основной работы классика когнитивной психологии Р.Солсо (Когнитивная психология. /Пер. с англ. - М.: Тривола, 1996. - 600с.) (рисунок 5.8).

**Рис. 7.3.** Атрибуты двух групп ("птица" и "малиновка") с высокой степенью пересечения.

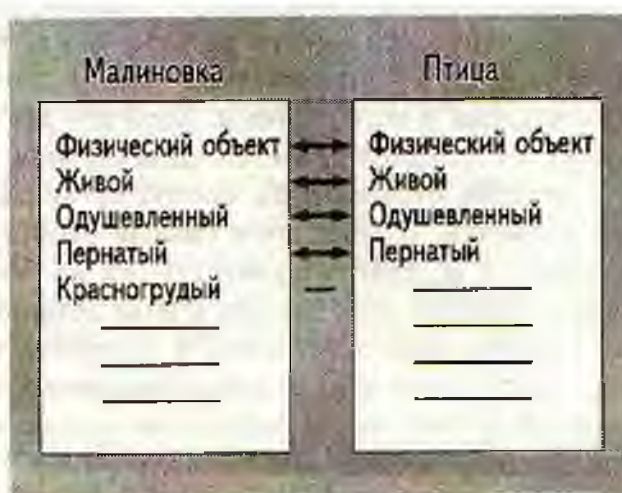


Рисунок 5.8 - Когнитивная диаграмма из классической работы Роберта Солсо.

В приведенной когнитивной диаграмме наглядно в графической форме показано сравнение классов (обобщенных образов) "Малиновка" и "Птица" разных уровней общности по их атрибутам (признакам). Как видно из диаграммы, в ней:

1. Все атрибуты имеют одинаковый вес, т.е. не учитывается, что некоторые атрибуты более важны для идентификации класса, чем другие. Это соответствует предположению, что этот вес равен по модулю 1 для всех атрибутов.

2. Все признаки имеют одинаковый знак, т.е. они все характерны для классов и нет атрибутов нехарактерных. Это соответствует предположению, что вес всех признаков положительный, т.е. все признаки вносят вклад в сходство и нет признаков, вносящих вклад в различие.

3. Классы сравниваются только по тем атрибутам, которые есть одновременно у них обоих, т.е. признаки, имеющиеся у обоих классов вносят вклад в сходство классов, а признаки, которые есть только у одного из классов не вносят никакого вклада ни в сходство классов, ни в различие. Это

соответствует предположению, что атрибуты ортонормированы, т.е. корреляция их друг с другом равна 0 (атрибуты семантически не связаны).

Каждое из этих трех допущений является довольно сильным и желательно их снять и, тем самым, обобщить принцип построения когнитивных диаграмм, приведенный в данном примере.

Но это означает, что данный подход не позволяет сравнивать классы, описанные различными, т.е. непересекающимися наборами признаков. Но даже если общие признаки и есть, то невозможность учета вклада остальных признаков является недостатком классического подхода, так как из содержательного анализа связей неконтролируемо исключается потенциально существенная информация. Таким образом, классический подход имеет ограниченную применимость при решении задачи №1. Для решения задачи №2 подход, основанный на формуле (3.44), вообще не применим, так как различные уровни системной организации классов образованы различными признаками и, следовательно, между уровнями не будет ни одной одно–однозначной связи.

Основываясь на этих соображениях, предлагается в общем случае учитывать вклад в сходство/различие двух классов, который вносят не только общие, но и остальные признаки. Логично предположить, что этот вклад (при прочих равных условиях) будет тем меньше, чем меньше корреляция между этими признаками.

Следовательно, для обобщения выражения для силы связи (5.43) необходимо умножить произведение информативностей признаков на коэффициент корреляции между ними, *отражающий степень схождения или различия признаков по смыслу*.

Таким образом, будем считать, что любые два признака (i,k) вносят определенный вклад в сходство/различие двух классов (j,l), определяемый сходством/различием признаков и количеством информации о принадлежности к этим классам, которое содержится в данных признаках:

$$R_{jl} = K_{ik} (I_{ij} - \bar{I}_j)(I_{kl} - \bar{I}_l), \quad (5.51)$$

где:  $K_{ik}$  – классический коэффициент корреляции Пирсона, количественно определяющий степень схождения по смыслу двух признаков: i и k, на основе учета вклада каждой связи, образованной содержащейся в них информацией о принадлежности к j–му классу

$$K_{ik} = \frac{1}{WS_j S_k} \sum_{j=1}^W (I_{ij} - \bar{I}_i)(I_{kj} - \bar{I}_k), \quad (5.52)$$

где

$$\bar{I}_i = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^W I_{ij} \quad \text{– средняя информативность координат вектора } i\text{-го признака;}$$

$$\bar{I}_k = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^W I_{kj} \quad \text{– средняя информативность координат вектора } k\text{-го признака;}$$

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^W (I_{ij} - \bar{I}_i)^2}{W-1}} \quad \text{– среднее квадратичное отклонение координат вектора } i\text{-го признака;}$$

$$S_k = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^W (I_{kj} - \bar{I}_k)^2}{W-1}} \quad \text{– среднее квадратичное отклонение координат вектора } k\text{-го признака.}$$

Коэффициент корреляции между признаками (5.52) рассчитывается на основе *всей* обучающей выборки, а не только объектов двух сравниваемых классов. Так как коэффициент корреляции между признаками (3.46) практически всегда не равен нулю, то *каждый признак  $i$  образует связи со всеми признаками  $k$* , где  $k=\{1, \dots, A\}$ , а каждый признак  $k$  в свою очередь связан со всеми остальными признаками. Это означает, что *выражение (5.51) является обобщением (5.48) с учетом много-многозначных связей.*

На основе этих представлений сформулируем выражение для обобщенного коэффициента корреляции Пирсона между двумя классами:  $j$  и  $l$ , учитывающего вклад в их сходство/различие не только одно-однозначных, но и много-многозначных связей, образуемых коррелирующими признаками. Когнитивные диаграммы с много-многозначными связями предлагается называть обобщенными когнитивными диаграммами.

$$L_{jl} = \frac{1}{MS_j S_l} \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^M K_{ik} (I_{ij} - \bar{I}_j)(I_{kl} - \bar{I}_l) \quad (5.53)$$

где  $K_{ik}$  определяется выражением (5.52).

Сравним классический (3.44) и обобщенный (3.47) коэффициенты корреляции Пирсона друг с другом. Очевидно, при  $i=k$  (5.52) преобразуется в (5.51), т.е. *соблюдается принцип соответствия.* Отметим, что модель позволяет задавать минимальный коэффициент корреляции (порог) между признаками, образуемыми учитываемые связи. При пороге 100% отображаются только одно-однозначные связи, учитываемые в классическом коэффициенте корреляции (5.50). Из выражений (5.51) и (5.50) видно, что

$$L_{jl} \geq K_{jl}, \quad (5.544)$$

так как в обобщенном коэффициенте корреляции учитываются связи между классами, образованные за счет учета корреляций между различными признаками. Ясно, что отношение

$$\frac{L_{jl}}{K_{jl}} \geq 1 \quad (5.55)$$

отражает *степень избыточности описания классов*. В модели имеется возможность исключения из системы признаков наименее ценных из них для идентификации классов. При этом в первую очередь удаляются сильно коррелирующие друг с другом признаки. В результате степень избыточности системы признаков уменьшается, и она становится ближе к ортонормированной.

Рассмотрим вопрос о единицах измерения, в которых количественно выражаются связи между классами.

Сходство двух признаков  $K_{ik}$  выражается величиной от  $-1$  до  $+1$ .

Максимальная теоретически возможная информативность признака в *Bit* выражается формулой

$$I_{\max} = \text{Log}_2(W), \quad (5.45)$$

Таким образом, учитывая выражения (3.45) и (3.50) получаем, что максимальная теоретически возможная сила связи  $R_{\max}$  равна

$$R_{\max} = I_{\max}^2. \quad (5.46)$$

В разработанном инструментарии СК-анализа, реализующем данную модель (описанном в лекции 6), реализован режим отображения когнитивной графики, где фактическая сила связи (5.51) в когнитивных диаграммах выражается в процентах от максимальной теоретически возможной силы связи (5.56). На графической диаграмме (рисунок 32) отображается 8 наиболее сильных по модулю связей, рассчитанных согласно формулы (5.53), причем знак связи изображается цветом (красный  $+$ , синий  $-$ ), а величина – толщиной линии.

Имеется возможность выводить диаграммы только с положительными или только с отрицательными связями (для не цветных принтеров).

Частным случаем предложенных в данной работе обобщенных когнитивных диаграмм являются известные диаграммы В.С.Мерлина (Очерк интегрального исследования индивидуальности. - М., 1986. - 187с.). Эти диаграммы представляют обобщенные когнитивные диаграммы, формируемые в соответствии с предложенной моделью при следующих граничных условиях:

1. Класс сравнивается сам с собой.
2. Фильтрация левого и правого информационных портретов выбрана по уровням системной организации признаков (в данном случае – уровням Мерлина, терм. авт.).
3. Левый класс отображается с фильтрацией по одному уровню системной организации, а правый – по другому.
4. Диалог задания вида диаграмм предоставляет пользователю возможность задать следующие параметры:



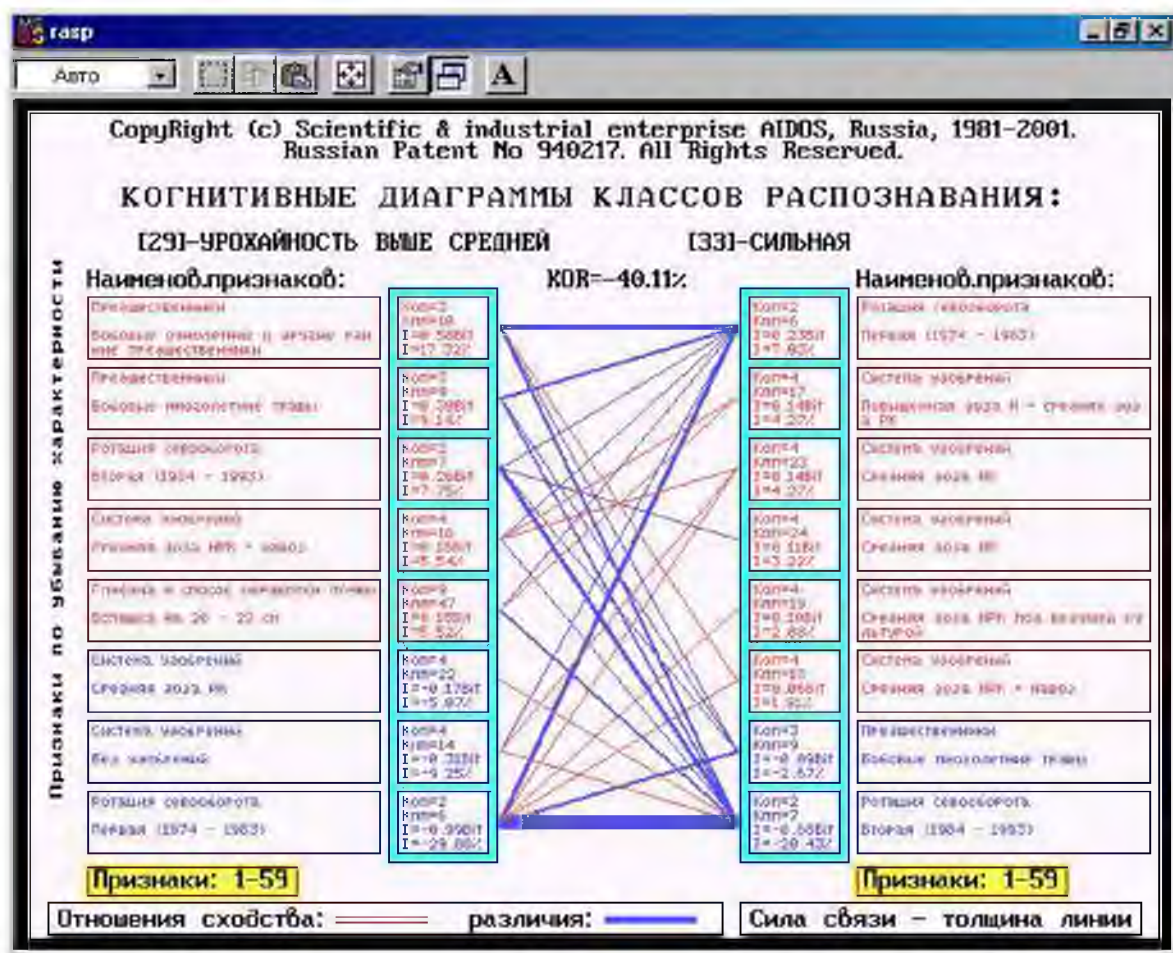


Рисунок 5.9 - Когнитивная диаграмма конструктора классов "Качество-количество"

- способ нормирования толщины линий, отображающих связи: нормирование по текущей диаграмме или по всем диаграммам;
- способ фильтрации признаков в информационных портретах диаграммы: по диапазону признаков или по диапазону уровней системной организации (уровням Мерлина);
- сами диапазоны признаков или уровней для левого и правого информационных портретов;
- максимальное количество связей, отображаемых на диаграмме;
- уровень сходства признаков, образующих одну связь, отображаемую на диаграмме: от 0 до 100%. При уровне сходства 100% в диаграммах отображаются только связи, образованные теми признаками, которые есть в обоих портретах одновременно, т.е. взаимно-однозначные связи. При уровне сходства менее 100% вообще говоря связи становятся много-многозначными, так как каждый признак корреляционно связан со всеми остальными;
- уровень сходства классов, отображаемых на диаграмме.

Таким образом, в предлагаемой математической модели в общем виде реализована возможность содержательного сравнения обобщенных образов состояний АОУ и факторов, т.е. построения когнитивных диаграмм [81], веса атрибутов определяются автоматически на основе исходных данных в

соответствии с математической моделью и могут принимать различные по величине положительные и отрицательные значения. Кроме того на основе кластерного анализа атрибутов определяются корреляции между ними, которые учитываются при определении вклада атрибутов в сходство или различие классов. Поэтому отношения между атрибутами разных классов в когнитивной диаграмме не "один к одному", как в диаграмме на рисунке 31, а "многие ко многим" (рисунок 32).

В информационном портрете состояния АОУ показано, какое количество информации о принадлежности (не принадлежности) АОУ к данному состоянию, а также о переходе (не переходе) АОУ в данное состояние содержится в том факте, что на АОУ действуют факторы, содержащиеся в данном информационном портрете.

Кластерно-конструктивный анализ дает результат сравнения состояний АОУ друг с другом, т.е. показывает, насколько эти состояния сходны друг с другом и насколько отличаются друг от друга. *Но он не показывает, какими факторами эти состояния АОУ похожи и какими отличаются, и какой вклад каждый фактор вносит в сходство или различие каждой двух состояний.* Чтобы получить эту информацию, необходимо проанализировать два информационных портрета, что и делается при содержательном сравнении состояний АОУ.

*Смысл и значение диаграмм Мерлина применительно к проблематике АСУ состоит в том, что они наглядно представляют внутреннюю структуру детерминации состояний АОУ, т.е. показывают, каким образом связаны друг с другом факторы и будущие состояния АОУ.*

**Таким образом:**

– для моделирования процессов принятия решений в рефлексивных АСУ активными системами целесообразно применение многокритериального подхода с аддитивным интегральным критерием, в котором в качестве частных критериев используется семантическая мера целесообразности информации (Харкевич, 1960);

– предложенная математическая модель обеспечивает эффективное решение следующих задач, возникающих при синтезе адаптивных АСУ АОУ: разработка абстрактной информационной модели АОУ; адаптация и конкретизация абстрактной модели на основе апостериорной информации о реальном поведении АОУ; расчет влияния факторов на переход АОУ в различные возможные состояния; прогнозирование поведения АОУ при конкретном управляющем воздействии и выработка многофакторного управляющего воздействия (основная задача АСУ); выявление факторов, вносящих основной вклад в детерминацию состояния АОУ; контролируемое удаление второстепенных факторов с низкой дифференцирующей способностью, т.е. снижение размерности модели при заданных ограничениях; сравнение влияния факторов, сравнение целевых и других состояний АОУ.



Предложенная методология, основанная на теории информации, обеспечивает эффективное моделирование задач принятия решений в адаптивных АСУ сложными системами.

### ***Содержательное (смысловое) сравнение признаков***

Предложенная математическая модель позволяет осуществить содержательное сравнение информационных портретов двух признаков.

Выявляются классы, которые есть по крайней мере в одном из векторов. Такие классы называются связями, так как благодаря тому, что они либо тождественны друг другу, либо между ними имеется определенное сходство или различие, они вносят определенный вклад в отношения сходства/различия между признаками по смыслу.

Все связи между признаками сортируются в порядке убывания модуля, в соответствии с определенными ограничениями, связанными с тем, что нет необходимости учитывать очень слабые связи.

Для каждого класса известно, какое количество информации о принадлежности к нему содержит данный признак – это информативность. Здесь необходимо уточнить, что информативность признака – это не только количество информации в признаке о принадлежности к данному классу, но и количество информации в классе о том, что при нем наблюдается данный признак, т.е. это взаимная информация класса и признака.

Если бы классы были тождественны друг другу, т.е. это был бы один класс, то его вклад в сходство/различие двух признаков был бы просто равен соответствующему данному классу слагаемому корреляции этих признаков, т.е. просто произведению информативностей.

Но поскольку это в общем случае это могут быть различные классы, то, очевидно, необходимо умножить произведение информативностей на коэффициент корреляции между классами.

Таким образом, будем считать, что любые два класса (j,l) вносят определенный вклад в сходство/различие двух признаков (i,k), определяемый сходством/различием этих классов и количеством информации о принадлежности к ним, которое содержится в данных признаках

$$L_{ik} = \frac{1}{WS_i S_k} \sum_{j=1}^W \sum_{l=1}^W K_{jl} (I_{ij} - \bar{I}_i)(I_{kl} - \bar{I}_k). \quad (3.47)$$

Вывод формулы (3.58) обобщенного коэффициента корреляции Пирсона для двух признаков совершенно аналогичен выводу формулы (5.53), поэтому он здесь не приводится. Формулы для всех входящих в (3.58) величин приведены выше в предыдущем разделе.

Так же, как и в режиме содержательного сравнения классов, в данном режиме сила связи выражается в процентах от максимальной теоретически-возможной силы связи. На диаграммах отображается 16 наиболее значимых связей, рассчитанных согласно этой формуле, причем знак связи изображается цветом (красный +, синий –), а величина – толщиной линии.

Имеется возможность вывода диаграмм только с положительными или только с отрицательными связями.

Математическая модель позволяет получить обобщенные инвертированные когнитивные диаграммы для любых двух заданных признаков, для пар наиболее похожих и непохожих признаков, для всех их возможных сочетаний, а также инвертированные диаграммы Мерлина.

Необходимо отметить, что понятия, соответствующие по смыслу терминам "обобщенная инвертированная когнитивная диаграмма" и "инвертированная диаграмма Мерлина" не упоминаются даже в фундаментальных руководствах по когнитивной психологии и впервые предложены автором в [125]. Эти диаграммы представляют собой частный случай обобщенных когнитивных диаграмм признаков, формируемых в соответствии с предложенной математической моделью при следующих ограничениях:

1. Признак сравнивается сам с собой.
2. Выбрана фильтрация левого и правого вектора по уровням системной организации классов (аналог уровней Мерлина для свойств).
3. Левый вектор отображается с фильтрацией по одному уровню системной организации классов, а правый – по другому.

#### **Обоснование сопоставимости частных критериев $I_{ij}$**

Применение этого метода корректно, если можно сравнивать суммарное количество информации о переходе АОУ в различные состояния, рассчитанное в соответствии с выражением (3.44), т.е. если они сопоставимы друг с другом.

Будем считать, что величины сопоставимы тогда и только тогда, когда одновременно выполняются следующие три условия:

1. Сопоставимы индивидуальные количества информации, содержащейся в признаках о принадлежности к классам.
2. Сопоставимы величины, рассчитанные для одного объекта и разных классов.
3. Сопоставимы величины, рассчитанные для разных объектов и разных классов.

Очевидно, для решения всех этих вопросов необходимо дать точное и полное определение самого термина "сопоставимость".

*Считается, что величины сопоставимы, если существует некоторая количественная шкала для измерения этих величин.*

Таким образом, в нашем случае сопоставимость обеспечивается, если на шкале определены направление и единица измерения, а также есть абсолютный минимум (ноль) или максимум.

Докажем теоремы о выполнении условий сопоставимости для упрощенной и полной информационных моделей объектов и классов распознавания. Для этого рассмотрим вышеперечисленные необходимые и достаточные условия сопоставимости для упрощенной и полной информационных моделей.

*Теорема-1: Индивидуальные количества информации, содержащейся в признаках объекта о принадлежности к классам, сопоставимы между собой.*

В упрощенной информационной модели класса и информационной модели объекта принято, что все признаки имеют одинаковый вес, который равен **1**, если признак есть у класса, и **0**, если его нет. Уже одним этим обеспечивается сопоставимость индивидуальных количеств информации в упрощенной модели.

В полной модели количество информации рассчитывается в соответствии с модифицированной формулой Харкевича (3.28). Таким образом, в полной информационной модели класса для каждого признака известно, какое количество информации о принадлежности к данному классу он содержит. Это количество информации может быть положительным, нулевым и отрицательным, но не может превосходить некоторой максимальной величины, определяемой количеством классов распознавания:  $I = \text{Log}_2 W$  (мера Хартли), где  $W$  – количество классов распознавания. Следовательно, для полной информационной модели сопоставимость индивидуальных количеств информации также обеспечивается, так как для них применима шкала отношений.

*Это означает, что индивидуальные количества информации можно суммировать и ввести интегральный критерий как аддитивную меру от индивидуальных количеств информации, что и требовалось доказать.*

*Теорема-2: Величины суммарной информации, рассчитанные для одного объекта и разных классов, сопоставимы друг с другом.*

В упрощенной информационной модели вариант расстояния Хэмминга  $H^j$ , в котором учитываются только совпадения единиц (т.е. существующих признаков), для кодовых слов объекта и класса равно:

$$H^j = \sum_{i=1}^M I_i^j L_i, \quad (5.48)$$

где  $I_i^j$  – кодовое слово (профиль, массив–локатор)  $j$ -го класса;

$$I_i^j = \begin{cases} 1, & \text{если признак есть;} \\ 0, & \text{если признака нет;} \end{cases}$$

$L_i$  – кодовое слово (профиль, массив–локатор) объекта.

$$L_i = \begin{cases} 1, & \text{если признак есть;} \\ 0, & \text{если признака нет.} \end{cases}$$

Пусть длина кодового слова (количество признаков) равна  $A$ . Длины кодовых слов объекта и классов одинаковы. Признаки могут принимать значения  $\{0,1\}$ . Тогда из этих условий и выражения (3.53) следует:

$$0 \leq H^j \leq M. \quad (5.60)$$

*Но выражение (5.59) является математическим определением **шкалы отношений**, что означает полную сопоставимость предложенной меры*

сходства для упрощенной информационной модели одного объекта и многих классов. Для обобщенной информационной модели этот вывод сохраняет силу, т.к. в этой модели информация в соответствии с выражением (5.28) измеряется в единицах измерения – битах, определенных на шкале измерения информации, и на этой шкале имеется 0 и теоретический максимум, определяемый в соответствии с выражением Хартли. В полной информационной модели мера сходства объекта с классом  $I^j$  имеет вид, определяемый выражением (5.45).

Очевидно, величина  $I^j$  нормирована:

$$-1 \leq I^j \leq +1, \quad (5.49)$$

что и доказывает применимость шкалы отношений и полную сопоставимость меры сходства для полной информационной модели одного объекта и многих классов.

*Это значит, что можно сравнивать меры сходства данного объекта с каждым из классов и ранжировать классы в порядке убывания сходства с данным объектом, что и требовалось доказать.*

*Теорема-3: Величины суммарной информации, рассчитанные для разных объектов и разных классов, а также классов и признаков и признаков, взаимно-сопоставимы.*

Очевидно, величина  $I^j$ , рассчитанная по формуле (3.39) для различных объектов и классов нормирована:

$$-1 \leq I^j \leq +1, \quad (6.62)$$

что и доказывает применимость шкалы отношений и полную сопоставимость мер сходства для полной информационной модели многих объектов и многих классов.

Это значит, что можно сравнивать меры сходства различных объектов с классами распознавания и делать выводы о том, что одни объекты распознаются лучше, а другие хуже на данном наборе классов и признаков, что и т.д.

*Аналогичные рассуждения верны и для сравнения векторов классов друг с другом, а также векторов признаков друг с другом, что позволяет применить модели кластерно-конструктивного анализа и алгоритмы построения семантических сетей, что и требовалось доказать.*

*Теорема-4: Неметрический интегральный критерий сходства, основанный на модифицированной формуле А.Харкевича и обобщенной лемме Неймана-Пирсона, аддитивен.*

Рассмотрим информационные модели распознаваемого объекта и классов распознавания, т.е. модели, основанные на теории кодирования – декодирования и расстоянии Хэмминга (кодовое расстояние) в качестве критерия сходства. Эта модель является упрощенной, но достаточно

адекватной для решения вопроса об аддитивности меры сходства объектов и классов.

Информационная модель распознаваемого объекта представляет собой двоичное слово, каждый разряд которого соответствует определенному признаку. Если признак есть у распознаваемого объекта, то соответствующий разряд имеет значение 1, если нет – то 0. Двоичное слово с установленными в 1 разрядами, соответствующими признакам распознаваемого объекта, называется его кодовым словом.

Упрощенная информационная модель класса распознавания есть двоичное слово, каждый разряд которого соответствует определенному признаку. Соответствие между двоичными разрядами и признаками для классов то же самое, что и для распознаваемых объектов. Если признак есть у класса, то соответствующий разряд имеет значение 1, если нет – то 0. Двоичное слово с установленными в 1 разрядами, соответствующими признакам класса, называется его кодовым словом.

Такая модель класса является упрощенной, так как в ней принято, что все признаки имеют одинаковый вес равный 1, если он есть у класса, и 0, если его нет, тогда как *в полной информационной модели класса для каждого признака известно, какое количество информации о принадлежности к данному классу он содержит*. Это количество информации может быть положительным, нулевым и отрицательным, но не может превосходить некоторой максимальной величины, определяемой количеством классов распознавания:

$$I = \text{Log}_2 W \text{ (мера Хартли),}$$

где  $W$  – количество классов.

Таким образом, в упрощенной информационной модели различные классы распознавания отличаются друг от друга только наборами признаков, которые им соответствуют.

При использовании этих упрощенных моделей задача распознавания объекта сводится к задаче декодирования, т.е. *кодовые слова объектов рассматриваются как искаженные зашумленным каналом связи кодовые слова классов*. Распознавание состоит в том, что по кодовому слову объекта определяется наиболее близкое ему в определенном смысле кодовое слово класса. При этом естественной и наиболее простой мерой сходства между распознаваемым объектом и классом является расстояние Хэмминга между их кодовыми словами, т.е. количество разрядов, которыми они отличаются друг от друга.

Рассмотрим теперь вопрос *об аддитивности количества информации как частного критерия в интегральном критерии*.

Известно [194], что существует всего два варианта формирования интегрального критерия из частных критериев: аддитивный и мультипликативный, поэтому задача сводится к выбору одного из этих вариантов. Следует отметить, что аддитивный критерий может рассматриваться как логарифм мультипликативного, а т.к. логарифм является монотонно-возрастающей функцией, то в принципе разница между этими

критериями для принятия решений не так уж и велика, что подтверждается и в их сравнительных численных исследованиях.

Рассмотрим эти варианты. Пусть кодовое слово объекта состоит из  $N$  разрядов. Тогда добавление еще одного разряда, отображающего имеющийся (1) или отсутствующий (0) признак, приведет к различным результатам в случаях, когда интегральный критерий есть аддитивная и мультипликативная функция индивидуальных количеств информации в признаках (таблица 19).

Таблица 5.13 – Сравнение аддитивного и мультипликативного вариантов интегрального критерия

| Дополнительный признак | Аддитивная функция:<br>$f(n) = f(n_1, n_2) = f(n_1) + f(n_2)$ | Мультипликативная функция:<br>$f(n) = f(n_1, n_2) = f(n_1) \times f(n_2)$ |
|------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Есть (1)               | $I+1 = f(n_1, 1) = f(n_1) + f(1)$                             | $I \times 1 = f(n_1, 1) = f(n_1) \times f(1)$                             |
| Нет (0)                | $I+0 = f(n_1, 0) = f(n_1) + f(0)$                             | $I \times 0 = f(n_1, 0) = f(n_1) \times f(0)$                             |

Здесь предполагается, что:  $I=f(n)$ ,  $f(1)=1$ ,  $f(0)=0$ .

Итак, если функция аддитивна – добавление еще одного разряда увеличит количество информации в кодовом слове на 1 бит, если соответствующий признак есть, и не изменит этого количества, если его нет; если же функция мультипликативна, – то это не изменит количества информации в кодовом слове, если соответствующий признак есть, и сделает его равным нулю, если его нет.

Очевидно, мультипликативный вариант интегрального критерия не соответствует классическим представлениям о природе информации, тогда как аддитивный вариант полностью им соответствует: требование аддитивности самой меры информации было впервые обосновано Хартли в 1928 году, подтверждено Шенноном в 1948 году, и в последующем развитии теории информации никогда не подвергалось сомнению. На аддитивности частных критериев, имеющих смысл количества информации, основана известная лемма Неймана-Пирсона [194, стр.152].

Пусть по выборке (т.е. совокупности факторов)  $\{x=x_1, \dots, x_N\}$  требуется отдать предпочтение одной из конкурирующих гипотез ( $H_1$  или  $H_0$ ), т.е. определить в какое будущее состояние перейдет объект управления, если известны распределения наблюдений при каждой из них (по данным обучающей выборки), т.е.  $p(x|H_0)$  и  $p(x|H_1)$ . Как обработать предпочтительную гипотезу? Из теории информации известно, что никакая обработка не может увеличить количества информации, содержащегося в выборке  $\{x\}$ . Следовательно, выборке  $\{x\}$  нужно поставить в соответствие число, содержащее всю полезную информацию, т.е. обработать выборку без потерь. Возникает мысль о том, чтобы вычислить индивидуальные количества информации в выборке  $\{x\}$  о каждой из гипотез и сравнить их:

$$\Delta i = i(x, H_1) - i(x, H_0) = L_n \frac{p(x|H_1)}{p(x)} - L_n \frac{p(x|H_0)}{p(x)} = L_n \frac{p(x|H_1)}{p(x|H_0)} \quad (5.63)$$

Какой из гипотез отдать предпочтение, зависит теперь от величины  $\Delta_i$  и от того, какой порог сравнения мы назначим. Оптимальность данной статистической процедуры специально доказывается в математической статистике, – именно к этому сводится содержание фундаментальной Леммы Неймана-Пирсона, которая утверждает, что *предпочтение следует отдавать той статистической гипотезе, о которой в выборке содержится больше информации.*

Согласно описанной выше процедуре предполагается, что объект управления перейдет в то будущее состояние, о переходе в которое в системе факторов содержится большее суммарное количество информации.

*Таким образом, аддитивность интегрального критерия, основанного на частных критериях, имеющих смысл количества информации, можно считать обоснованной, что и требовалось доказать.*

### **Обобщение интегральной модели путем учета значений выходных параметров объекта управления**

Выходные параметры  $\overset{P}{Y}$  – это свойства объекта управления, зависят от входных параметров (в том числе параметров, характеризующих среду) и связаны с его целевым состоянием сложным и неоднозначным способом:

$$\overset{P}{T} = T(\overset{P}{Y}). \quad (5.64)$$

Задача идентификации состояния АОУ по его выходным параметрам решается подсистемой идентификации управляющей подсистемы, работающей на принципах системы распознавания образов. При этом классами распознавания являются выходные состояния АОУ, а признаками – его выходные параметры.

Подсистема выработки управляющих воздействий, также основанная на алгоритмах распознавания образов, обеспечивает выбор управления  $\overset{P}{X}$ , переводящего объект управления в целевое состояние  $\overset{P}{T}$ .

При этом последовательно решаются следующие две обратные задачи распознавания:

**во-первых**, по заданному целевому состоянию  $\overset{P}{T}$  определяются наиболее характерные для данного состояния выходные параметры объекта управления:

$$\overset{P}{Y} = T^T(\overset{P}{T}), \quad (5.65)$$

**во-вторых**, по определенному на предыдущем шаге набору выходных параметров  $\overset{P}{Y}$  определяются входные параметры  $\overset{P}{X}$ , с наибольшей эффективностью переводящие объект управления в данное целевое состояние с этими выходными параметрами:

$$\overset{P}{X} = Y^T(\overset{P}{Y}). \quad (5.66)$$

1. Таким образом, определенная ограниченность подхода Шеннона, рассмотренная в данной главе, преодолевается в семантической

информационной математической модели СК-анализа, основанной на СТИ. В рамках СТИ установлено, что одной из наиболее перспективных конкретизаций апостериорного подхода, является подход, предложенный в 1960 году А.А.Харкевичем [242]. Для моделирования процессов принятия решений в рефлексивных АСУ активными объектами предложено применить многокритериальный подхода с аддитивным интегральным критерием, в котором в качестве частных критериев используется системная мера семантической целесообразности информации. При этом количество информации оценивается косвенно: *по изменению степени целесообразности поведения системы, получившей эту информацию*. В результате получения информации поведение системы улучшается (растет выигрыш), а в результате получения дезинформации – ухудшается (растет проигрыш). Известны и более развитые семантические меры информации [194], основанные на интересных и правдоподобных идеях, *однако они наталкиваются на значительные математические трудности и сложности в программной реализации, поэтому их рассмотрение в данном исследовании признано нецелесообразным*.

2. Предложенная математическая модель обеспечивает эффективное решение следующих задач, возникающих в рефлексивных АСУ АО:

- разработка абстрактной информационной модели АОУ;
- адаптация и конкретизация абстрактной модели на основе информации о реальном поведении АОУ;
- расчет влияния факторов на переход АОУ в различные возможные состояния;
- прогнозирование поведения АОУ при конкретном управляющем воздействии и выработка многофакторного управляющего воздействия (основная задача АСУ);
- выявление факторов, вносящих основной вклад в детерминацию состояния АОУ;
- корректное удаление второстепенных факторов с низкой дифференцирующей способностью, т.е. снижение размерности модели при заданных граничных условиях;
- сравнение влияния факторов, сравнение целевых и других состояний АОУ.

3. Показано, что предложенная методология, основанная на системном обобщении теории информации, обеспечивает эффективное моделирование задач принятия решений в РАСУ АОУ.

4. Доказана возможность сведения многокритериальной задачи принятия решений к однокритериальной, показана глубокая внутренняя взаимосвязь данной модели с математической моделью распознавания образов. На этой основе введено понятие "интегрального метода" распознавания и принятия решений и, после анализа и переосмысления основных понятий теории информации, предложена базовая математическая модель "интегрального метода", основанная на системной теории информации. Показано, что теория информации может рассматриваться как



единая математическая и методологическая основа методов распознавания образов и теории принятия решений. При этом распознавание образов рассматривается как принятие решения о принадлежности объекта к определенному классу распознавания, прогнозирование – как распознавание будущих состояний, а принятие решения об управляющем воздействии на объект управления в АСУ как решение обратной задачи прогнозирования (расознавания).

5. Проведено исследование базовой математической модели на примере решения основной задачи АСУ – задачи принятия решения о наиболее эффективном управляющем воздействии. Осуществлена декомпозиция основной задачи в последовательность частных задач для каждой из которых найдено решение, показана взаимосвязь основной задачи АСУ с задачей декодирования теории информации.

#### **2.52.4 Некоторые свойства математической модели (сходимость, адекватность, устойчивость и др.)**

Под сходимостью семантической информационной модели в данной работе понимается:

- а) зависимость информативностей факторов (в матрице информативностей) от объема обучающей выборки;
- б) зависимость адекватности модели (интегральной и дифференциальной валидности) от объема обучающей выборки.

Для измерения сходимости в смыслах "а" и "б" в инструментарии СК-анализа – системе "Эйдос" реализован специальный исследовательский режим.

Под адекватностью модели понимается ее внутренняя и внешняя дифференциальная и интегральная валидность. Понятие валидности является уточнением понятия адекватности, для которого определены процедуры количественного измерения, т.е. **валидность – это количественная адекватность**. Это понятие количественно отражает способность модели давать правильные результаты идентификации, прогнозирования и способность вырабатывать правильные рекомендации по управлению. Под внутренней валидностью понимается валидность модели, измеренная после синтеза модели путем идентификации объектов обучающей выборки. Под внешней валидностью понимается валидность модели, измеренная после синтеза модели путем идентификации объектов, не входящих в обучающую выборку. Под дифференциальной валидностью модели понимается достоверность идентификации объектов в разрезе по классам. Под интегральной валидностью средневзвешенная дифференциальная валидность. Возможны все сочетания: внутренняя дифференциальная валидность, внешняя интегральная валидность и т.д. (таблица 5.14).

Таблица 5.14 – К определению понятия валидности

|              | Внутренняя валидность               | Внешняя валидность                  |
|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Дифференциал | Валидность модели, измеренная после | Валидность модели, измеренная после |

|                            |                                                                                         |                                                                                                        |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ьная<br>валидность         | синтеза модели путем идентификации объектов обучающей выборки в разрезе по классам      | синтеза модели путем идентификации объектов, не входящих в обучающую выборку в разрезе по классам      |
| Интегральная<br>валидность | Средневзвешенная по всем классам достоверность идентификации объектов обучающей выборки | Средневзвешенная по всем классам достоверность идентификации объектов, не входящих в обучающую выборку |

Под устойчивостью модели понимается ее способность давать незначительные различия в прогнозах и рекомендациях по управлению при незначительных различиях в исходных данных для решения этих задач.

#### *2.5.2.4.1. Непараметричность модели. Робастные процедуры и фильтры для исключения артефактов*

Предложенная семантическая информационная модель является непараметрической, т.к. не основана на предположениях о нормальности распределений исследуемой выборки. Под робастными понимаются процедуры, обеспечивающие устойчивую работу модели на исходных данных, зашумленных артефактами, т.е. данными, выпадающими из общих статистических закономерностей, которым подчиняется исследуемая выборка. Выявление артефактов возможно только при большой статистике, т.к. при малой статистике все частоты атрибутов малы и невозможно отличить артефакт от значимого атрибута. Критерий выявления артефактов основан на том, что при увеличении объема статистики частоты значимых атрибутов растут, как правило, пропорционально объему выборки, а частоты артефактов так и остаются чрезвычайно малыми, близкими к единице. В модели реализована такая процедура удаления наиболее вероятных артефактов, и она, как показывает опыт, существенно повышает качество (адекватность) модели.

#### *2.5.2.4.2 Зависимость информативностей факторов от объема обучающей выборки*

При учете в модели апостериорной информации, содержащейся в очередном объекте обучающей выборки, осуществляется перерасчет значений информативностей всех атрибутов. При этом изменяется количество информации, содержащейся в факте обнаружения у объекта данного атрибута о принадлежности объекта к определенному классу.

В этом процессе пересчета информативностей атрибута их значения "сходятся" к некоторому пределу в соответствии с двумя "сценариями":

- 1) процесс "последовательных приближений", напоминающего по своей форме "затухающие колебания" (рисунок 33);
- 2) относительно "плавное" возрастание или убывание с небольшими временными отклонениями от этой тенденции (рисунок 34).

Как показали численные эксперименты и специально проведенные исследования, других сценариев на практике не наблюдается.

В любом случае при накоплении достаточно большой статистики и сохранении закономерностей предметной области, отражаемых обучающей выборкой, **модель стабилизируется** в том смысле, что значения информативностей атрибутов перестают существенно изменяться.

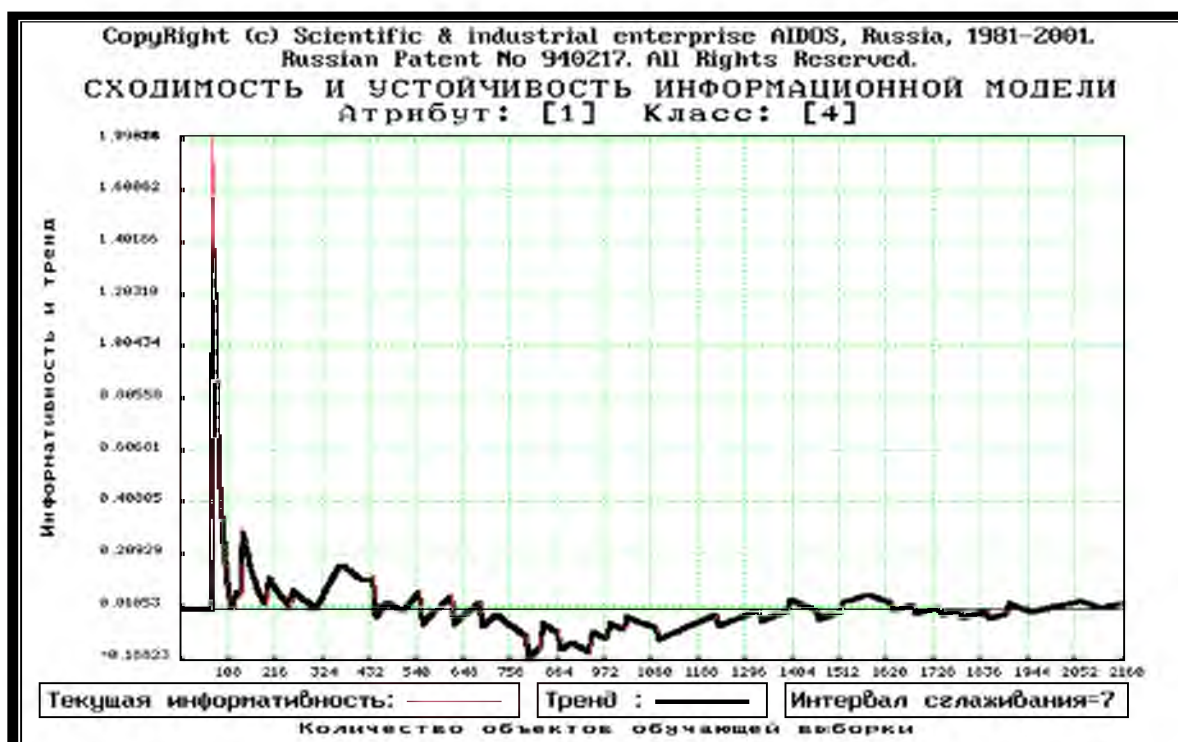


Рисунок 5.10 - Зависимость количества информации, содержащегося в атрибуте №1 о принадлежности идентифицируемого объекта (обладающего этим атрибутом) к классу №4 от объема обучающей выборки

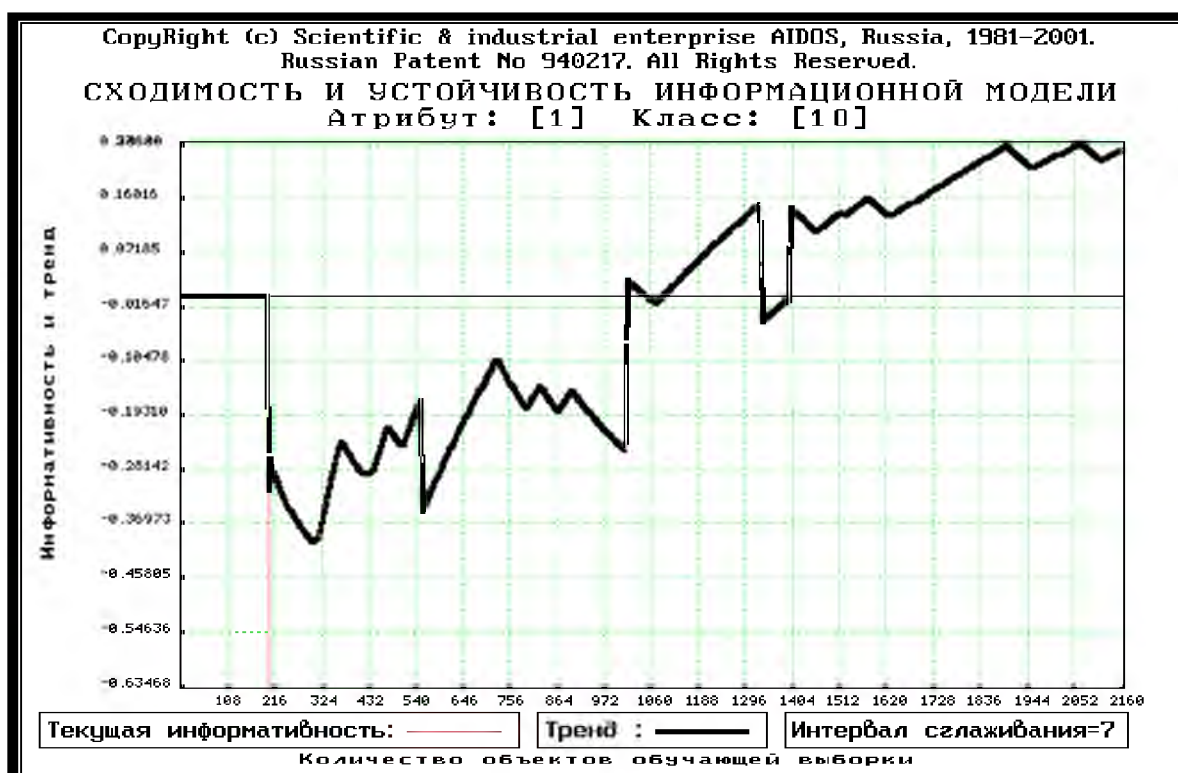


Рисунок 5.11 - Зависимость количества информации, содержащегося в атрибуте №1 о принадлежности идентифицируемого объекта (обладающего этим атрибутом) к классу №10 от объема обучающей выборки

*Это дает основание утверждать, что при достижении этого состояния добавление новых примеров из обучающей выборки не вносит в модель ничего нового в модель и процесс обучения продолжать нецелесообразно. Это и является одним из критериев для принятия решения об остановке процесса обучения.*

#### 2.5.2.4.3 Зависимость адекватности семантической информационной модели от объема обучающей выборки (адекватность при малых и больших выборках)

При экспериментальном исследовании свойств предлагаемой математической модели было установлено следующее (рисунок 35).

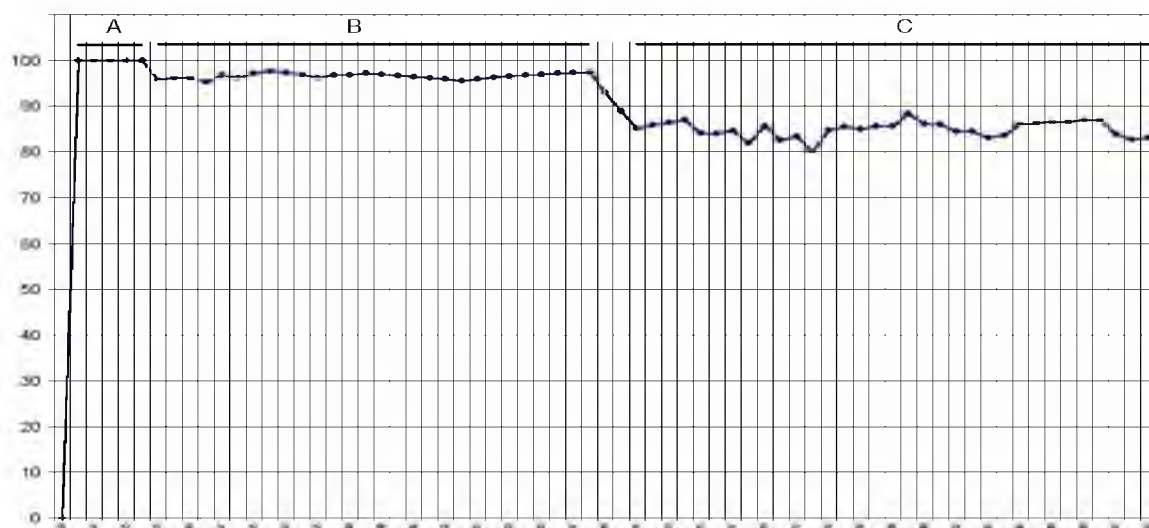


Рисунок 5.12 - Зависимость адекватности модели от объема обучающей выборки

1. При малых выборках адекватность модели (внутренняя интегральная и дифференциальная валидность) равна 100% (рисунок 5.12, диапазон "А"). Это можно объяснить тем, что при малых объемах выборки все выявленные закономерности имеют детерминистский характер.

2. При увеличении объема исследуемой выборки происходит понижение адекватности модели (переход: А→В) и стабилизация ее адекватности на некотором уровне около 95-98% (рисунок 5.12, диапазон "В").

3. Учет в модели объектов обучающей выборки, отражающих закономерности, качественно отличающиеся от ранее выявленных, приводит к понижению адекватности модели (переход: В→С) и ее стабилизации на уровне от 80 до 90% (рисунок 5.12, диапазон "С").

4. Внутри диапазона "В" вариабельность объектов обучающей выборки по закономерностям "атрибут→класс" меньше, чем в диапазоне "С", т.е. объекты обучающей выборки диапазона "В" более однородны, чем "С".

*Выявленные в модели причинно-следственные закономерности имеют силу для определенного подмножества обучающей выборки, например, отражающих определенный период времени, который соответствует детерминистскому периоду развития предметной области. При качественном изменении закономерностей устаревшие данные могут даже на некоторое время (пока модель не сойдется к новым закономерностям) нарушать ее адекватность.*

В многочисленных проведенных практических исследованиях модель показала высокую скорость сходимости и высокую адекватность на малых выборках. На больших выборках (т.е. охватывающих несколько детерминистских и бифуркационных состояний предметной области) закономерности с коротким периодом "причина-следствие" переформируются заново, а с длительным (охватывающим несколько детерминистских и бифуркационных состояний) – автоматически становятся незначимыми и не ухудшают адекватность модели, если процесс апериодический, или сохраняют силу, если они имеют фундаментальный характер.

Выявленные закономерности сходимости модели позволяют сформулировать следующий *критерий остановки процесса обучения*: если в модели ничего существенно не меняется при добавлении в обучающую выборку все новых и новых данных, то это означает, что модель адекватно отображает генеральную совокупность, к которой относятся эти данные, и продолжать процесс обучения нецелесообразно.

Здесь уместно рассмотреть ответ на следующий вопрос. Если для формирования образов классов распознавания предъявлено настолько малое количество обучающих объектов, что говорить об обобщении и статистике не приходится, то как это может повлиять на качество формирования модели и ее адекватность? При большой статистике, как показывает опыт, около 95% объектов, формирующих образ некоторого класса оказываются типичными для него, а остальные не типичными. Следовательно, если этот образ формируется на основе буквально одного - двух объектов, то вероятнее всего (т.е. с вероятностью около 95%) они являются типичными, и, следовательно, образ будет сформирован практически таким же, как и при большой статистике, т.е. правильным. При увеличении статистики в этом случае информативности признаков, составляющих образ практически не меняются). Но есть некоторая, сравнительно незначительная вероятность (около 5%), что попадет нетипичная анкета. Тогда при увеличении статистики образ быстро качественно изменится и "быстро сойдется" к адекватному, "нетипичная" анкета будет идентифицирована и ее данные либо будут удалены из модели, либо для нее специально будет создан свой класс.

При незначительной статистике относительный вклад каждого объекта в обобщенный образ некоторого класса, сформированный с его применением, будет достаточно велик. Поэтому в этом случае при распознавании модель уверенно относит объект к этому классу. При большой статистике модель также уверенно относит типичные объекты к классам, сформированным с их применением. Незначительное количество нетипичных объектов могут быть распознаны ошибочно, т.е. не отнесены моделью к тем классам, к которым их отнесли эксперты.

Наличие в системе очень сходных классов также может формально уменьшать валидность модели. Однако фактически эти очень сходные классы целесообразно объединить в один, т.к. по-видимому, их разделение объективно ничем не оправдано, т.е. не соответствует действительности. Для осуществления данной операции в математической модели целесообразно использовать режим: "Получение статистической характеристики обучающей выборки и объединение классов (ручной ремонт обучающей выборки)".

#### *2.5.2.4.4 Семантическая устойчивость модели*

Под семантической устойчивостью модели [81] нами понимается ее свойство давать малое различие в прогнозе при замене одних факторов, другими, мало отличающимися по смыслу (т.е. сходными по их влиянию на поведение АОУ). Проведенные автором исследования численные эксперименты в течение 1987 – 2005 годов показали, что разработанная математическая модель обладает очень высокой семантической устойчивостью.

#### *2.5.2.4.5 Зависимость некоторых параметров модели от ее ортонормированности*

Изучим зависимость уровня системности, степени детерминированности и адекватности модели от ее ортонормированности. В связи с тем, что соответствующий научно-исследовательский режим, позволяющий изучить эти зависимости методом численного эксперимента, на момент написания данной работы находится в стадии разработки, получим интересующие нас зависимости путем анализа выражений (5.9) и (5.25).

При этом будем различать ортонормированность модели по классам и ортонормированность по атрибутам.

#### **Зависимость адекватности модели от ее ортонормированности**

Модель изучалась методом численного эксперимента. При этом были получены следующие результаты.

*На 1-м этапе ортонормирования* адекватность модели (ее внутренняя дифференциальная и интегральная валидность) возрастает. Это можно объяснить тем, что, во-первых, уменьшается количество ошибок идентификации с близкими, т.е. коррелирующими классами, и, во-вторых,

удаление из модели малоинформативных признаков по сути улучшает отношение "сигнал/шум" модели, т.е. качество идентификации.

**На 2-м этапе ортонормирования** адекватность модели стабилизируется и незначительно колеблется около максимума. Это объясняется тем, что атрибуты, удаляемые на этом этапе, не являются критическим для адекватности модели.

**На 3-м этапе ортонормирования** адекватность модели начинает уменьшаться, т.к. дальнейшее удаление атрибутов не позволяет адекватно описать предметную область.

При приближении процесса ортонормирования к 3-му этапу или его наступлении этот процесс должен быть остановлен.

### **Зависимость уровня системности модели от ее ортонормированности**

Рассмотрим выражение (5.9):

$$\varphi = \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_w^m}{\text{Log}_2 W} \quad (5.67)$$

При выполнении операции ортонормирования по классам из модели последовательно удаляются те из них, которые наиболее сильно корреляционно связаны друг с другом. В результате в модели остаются классы практически не коррелирующие, т.е. ортонормированные. Поэтому можно предположить, что *в результате ортонормирования правила запрета на образование подсистем классов становятся более жесткими, и уровень системности модели уменьшается.*

### **Зависимость степени детерминированности модели от ее ортонормированности**

Рассмотрим выражение (5.68):

$$\Psi = \frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N} \quad (5.68)$$

Так как каждый класс как правило описан более чем одним признаком, то *при ортонормировании классов* и удалении некоторых из них из модели суммарное количество признаков  $N$  будет уменьшаться быстрее, чем количество классов  $W$ , поэтому *степень детерминированности будет возрастать.*

При ортонормировании атрибутов числитель выражения (3.25) не изменяется, а знаменатель уменьшается, поэтому и в этом случае *степень детерминированности возрастает.*

*Таким образом, ортонормирование модели приводит к увеличению степени ее детерминированности.*

По этой причине предлагается считать "детерминированностью" и "системностью" модели не их значения в текущем состоянии модели, а тот

предел, к которому стремятся эти величины при корректном ортонормировании модели при достижении ею точки максимума адекватности.

### 2.5.2.5 Взаимосвязь математической модели АСК-анализа с другими моделями

2.5.2.5.1 Взаимосвязь системной меры целесообразности информации со статистикой  $\chi^2$  и новая мера уровня системности предметной области

Статистика  $\chi^2$  представляет собой сумму вероятностей совместного наблюдения признаков и объектов по всей корреляционной матрице или определенным ее подматрицам (т.е. сумму относительных отклонений частот совместного наблюдения признаков и объектов от среднего):

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^W \sum_{i=1}^M \frac{(N_{ij} - t)^2}{t} \quad (5.69)$$

где:

–  $N_{ij}$  – фактическое количество встреч  $i$ -го признака у объектов  $j$ -го класса;

–  $t$  – ожидаемое количество встреч  $i$ -го признака у объектов  $j$ -го класса.

$$t = \frac{N_i N_j}{N} \quad (5.70)$$

Отметим, что статистика  $\chi^2$  математически связана с количеством информации в системе признаков о классе распознавания, в соответствии с системным обобщением формулы Харкевича для плотности информации (3.28)

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij} N}{N_i N_j} \right)^\Psi \quad (5.71)$$

а именно из (5.64) и (5.66) получаем:

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{t} \right)^\Psi \quad (5.72)$$

Из (5.66) очевидно:

$$I_{ij} = \Psi (\text{Log}_2 N_{ij} - \text{Log}_2 t) \quad (5.73)$$

Сравнивая выражения (5.57) и (5.61), видим, что числитель в выражении (5.57) под знаком суммы отличается от выражения (5.61) только тем, что в выражении (5.61) вместо значений  $N_{ij}$  и  $t$  взяты их логарифмы. Так как логарифм является монотонно возрастающей функцией аргумента, то введение логарифма не меняет общего характера поведения функции.

Фактически это означает, что:



$$\begin{cases} \text{если } N_{ij} < t \text{ то } \chi_{ij} > 0, I_{ij} < 0 \\ \text{если } N_{ij} = t \text{ то } \chi_{ij} = 0, I_{ij} = 0 \\ \text{если } N_{ij} > t \text{ то } \chi_{ij} > 0, I_{ij} > 0 \end{cases} \quad (5.74)$$

Если фактическая вероятность наблюдения  $i$ -го признака при предъявлении объекта  $j$ -го класса равна ожидаемой (средней), то наблюдение этого признака **не несет никакой информации о принадлежности объекта к данному классу**. Если же она выше средней – то это говорит в пользу того, что предъявлен объект данного класса, если же ниже – то другого.

Поэтому наличие статистической связи (информации) между признаками и классами распознавания, т.е. отличие вероятностей их совместных наблюдений от предсказываемого в соответствии со случайным нормальным распределением, приводит к увеличению фактической статистики  $\chi^2$  по сравнению с теоретической величиной.

Из этого следует возможность использования в качестве количественной меры степени выраженности закономерностей в предметной области не матрицы абсолютных частот и меры  $\chi^2$ , а новой меры  $H$ , основанной на матрице информативностей и системном обобщении формулы Харкевича для количества информации:

$$H = \sqrt[2]{\frac{1}{(W \cdot M - 1)} \sum_{j=1}^W \sum_{i=1}^M (I_{ij} - \bar{I})^2} \quad (5.75)$$

где:

$$\bar{I} = \frac{1}{W \cdot M} \sum_{j=1}^W \sum_{i=1}^M I_{ij} \quad \text{— средняя информативность признаков по матрице информативностей.}$$

Меру  $H$  в выражении (5.75) предлагается назвать обобщенным критерием сформированности модели Харкевича.

Значение данной меры показывает среднее отличие количества информации в факторах о будущих состояниях активного объекта управления от среднего количества информации в факторе (которое при больших выборках близко к 0). По своей математической форме эта мера сходна с мерами для значимости факторов и степени сформированности образов классов и коррелирует с объемом пространства классов и пространства атрибутов.

Описанная выше математическая модель обеспечивает инвариантность результатов ее синтеза относительно следующих параметров обучающей выборки: *суммарное количество и порядок ввода анкет обучающей выборки*; количество анкет обучающей выборки по каждому классу распознавания; суммарное количество признаков во всех анкетах обучающей выборки; суммарное количество признаков по эталонным описаниям различных

классов распознавания; количество признаков и их порядок в отдельных анкетах обучающей выборки.

Это обеспечивает высокое качество решения задач системой распознавания на неполных и разнородных (в вышеперечисленных аспектах) данных как обучающей, так и распознаваемой выборки, т.е. при таких статистических характеристиках потоков этих данных, которые чаще всего и встречается на практике и которыми невозможно или очень сложно управлять.

*2.5.2.5.2 Сравнение, идентификация и прогнозирование как разложение векторов объектов в ряд по векторам классов (объектный анализ)*

Выше были введены неметрические интегральные критерии сходства объекта, описанного массивом-локатором  $L_i$  с обобщенными образами классов  $I_{ij}$  (выражения 3.35 – 3.37)

$$I_j = (\overset{P}{I}_{ij}, \overset{P}{L}_i). \quad (5.76)$$

В выражении (3.64) круглыми скобками обозначено скалярное произведение. В координатной форме это выражение имеет вид:

$$I_j = \sum_{i=1}^M I_{ij} L_i, \quad (5.77)$$

где:

$\overset{P}{I}_{ij} = \{I_{ij}\}$  – вектор  $j$ -го состояния объекта управления;

$\overset{P}{L}_i = \{L_i\}$  – вектор состояния предметной области, включающий все виды факторов, характеризующих объект управления, возможные управляющие воздействия и окружающую среду (массив-локатор), т.е.:

$$\overset{P}{L}_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й фактор действует,} \\ \alpha_i, & \text{где } 0 < \alpha_i < 1, \text{ если } i\text{-й фактор действует с истинностью } \alpha_i; \\ 0, & \text{если } i\text{-й фактор не действует.} \end{cases}$$

Для непрерывного случая выражение (5.77) принимает вид:

$$I_j = \int_1^M L(i) I_j(i) di \quad (5.50)$$

Таким образом, выражение (3.66) представляет собой вариант выражения (3.65) интегрального критерия сходства объекта и класса для непрерывного случая в координатной форме.

*Интересно и очень важно отметить, что коэффициенты ряда Фурье по своей математической форме и смыслу сходны с ненормированными коэффициентами корреляции, т.е. по сути скалярными произведениями для непрерывных функций в координатной форме: выражение (3.66), между*

разлагаемой в ряд кривой  $f(x)$  и функциями  $\sin$  и  $\cos$  различных частот и амплитуд на отрезке  $[-L, L]$  [81]:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) + b_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \right)$$

где :

$$a_0 = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) dx \quad (5.79)$$

$$a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx$$

$$b_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx$$

где:  $n = \{1, 2, 3, \dots\}$  – натуральное число.

Из сравнения выражений (5.78) и (5.79) следует вывод, что **процесс идентификации и прогнозирования (распознавания), реализованный в предложенной математической модели, может рассматриваться как разложение вектора-локатора** распознаваемого объекта в ряд по векторам информативностей классов распознавания (которые представляют собой произвольные функции, сформированные при синтезе модели на основе эмпирических данных).

Например, при результатах идентификации, представленных на рисунке 5.13.

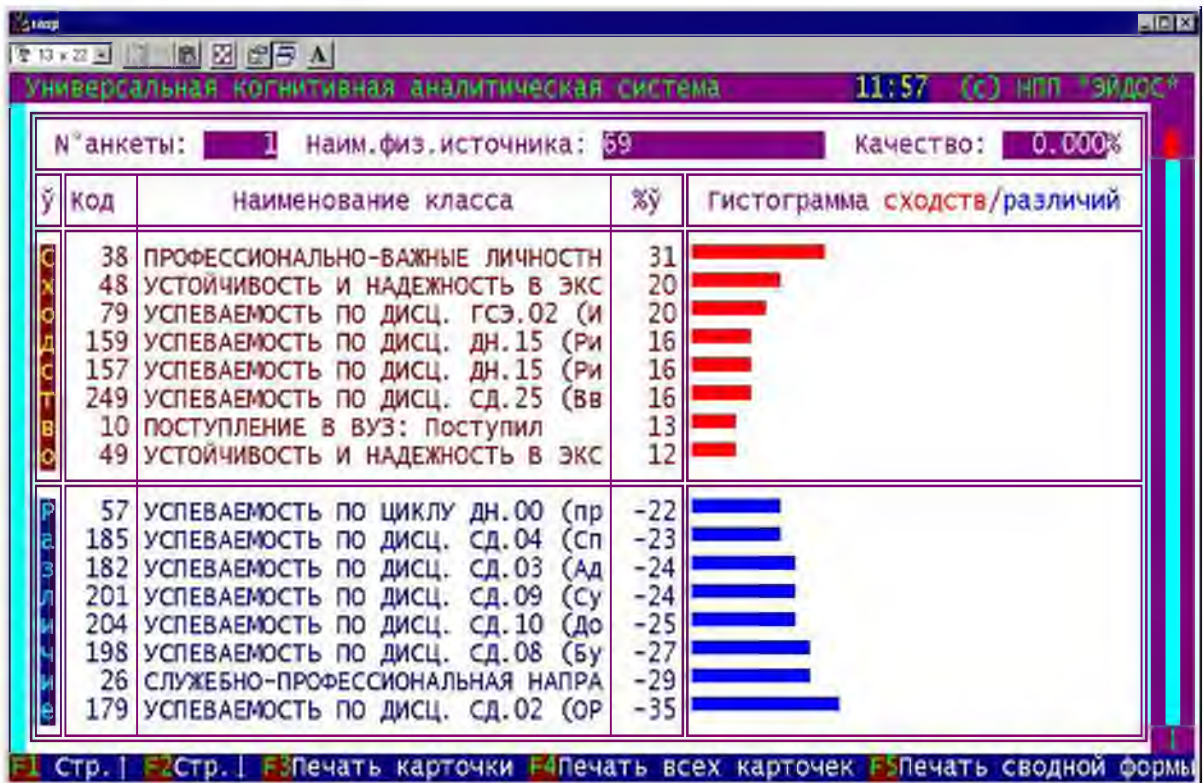


Рисунок 5.13 - Пример разложения профиля курсанта усл.№69 в ряд по обобщенным образам классов

Продолжая развивать аналогию с разложением в ряд, данный результат идентификации можно представить в векторной аналитической форме:

$$K_{\text{усл.№}} = 0,31 \cdot \bar{Y}(38) + 0,20 \cdot \bar{Y}(48) + 0,20 \cdot \bar{Y}(79) + 0,16 \cdot \bar{Y}(159) + 0,16 \cdot \bar{Y}(157) + 0,16 \cdot \bar{Y}(249) + \dots - 0,35 \cdot \bar{P}(179) - 0,29 \cdot \bar{P}(26) - 0,27 \cdot \bar{P}(198) - 0,25 \cdot \bar{P}(204) - 0,24 \cdot \bar{P}(201) - 0,24 \cdot \bar{P}(182) - \dots$$

Или в координатной форме, более удобной для численных расчетов:

$$K(i) = \sum_{j=1}^W (I(j) \cdot I(i, j)) \quad (5.80)$$

где:

$I(j)$  – интегральный критерий сходства массива-локатора, описывающего состояние объекта, и  $j$ -го класса, рассчитываемый согласно выражения (3.39):

$$I_j = \frac{1}{\sigma_j \sigma_l M} \sum_{i=1}^M (I_{ij} - \bar{I}_j) (L_i - \bar{L}), \quad (5.81)$$

$I(i, j)$  – вектор обобщенного образа  $j$ -го класса, координаты которого рассчитываются в соответствии с системным обобщением формулы Харкевича (3.28):

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_i N_j} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^\Phi}{\text{Log}_2 N}} + \text{Log}_2 W^\Phi \quad (5.82)$$

**Примечание:** обозначения  $I(i,j)$  и  $I_{ij}$ , и т.п. эквивалентны. Смысл всех переменных, входящих в выражения (3.28) и (3.39) раскрыт в разделе 3.1.3 данной работы.

При дальнейшем развитии данной аналогии естественно возникают вопросы: о полноте, избыточности и ортонормированности системы векторов классов как функций, по которым будет вестись разложение вектора объекта; о сходимости, т.е. вообще возможности и корректности такого разложения.

В общем случае вектор объекта совершенно не обязательно должен разлагаться в ряд по векторам классов таким образом, что сумма ряда во всех точках точно совпадала со значениям исходной функции. Это означает, что система векторов классов может быть **неполна** по отношению к профилю распознаваемого объекта, и, тем более, всех возможных объектов.

*Предлагается считать не разлагаемые в ряд, т.е. плохо распознаваемые объекты, суперпозицией хорошо распознаваемых объектов ("похожих" на те, которые использовались для формирования обобщенных образов классов), и объектов, которые и не должны распознаваться, так как объекты этого типа не встречались в обучающей выборке и не использовались для формирования обобщенных образов классов, а также не относятся к представляемой обучающей выборкой генеральной совокупности.*

Нераспознаваемую компоненту можно рассматривать либо как шум, либо считать ее полезным сигналом, несущим ценную информацию о еще не исследованных объектах интересующей нас предметной области (в зависимости от целей и тезауруса исследователей). Первый вариант не приводит к осложнениям, так как примененный в математической модели алгоритм сравнения векторов объектов и классов, основанный на вычислении нормированной корреляции Пирсона (сумма произведений), является *весьма устойчивым к наличию белого шума* в идентифицируемом сигнале. Во втором варианте необходимо дообучить систему распознаванию объектов, несущих такую компоненту (в этой возможности и заключается адаптивность модели). Технически этот вопрос решается просто копированием описаний плохо распознавшихся объектов из распознаваемой выборки в обучающую, их идентификацией экспертами и дообучением системы. Кроме того, может быть целесообразным расширить справочник классов распознавания новыми классами, соответствующими этим объектам.

Но на практике гораздо чаще наблюдается противоположная ситуация (можно даже сказать, что она типична), когда система векторов **избыточна**, т.е. в системе классов распознавания есть очень похожие классы (между которыми имеет место высокая корреляция, наблюдаемая в режиме: "кластерно-конструктивный анализ"). Практически это означает, что в системе сформировано несколько практически одинаковых образов с разными наименованиями. Для исследователя это само по себе является очень ценной информацией. Однако, если исходить только из потребности разложения распознаваемого объекта в ряд по векторам классов (чтобы определить суперпозицией каких образов он является, т.е. "разложить его на

компоненты"), то наличие сильно коррелирующих друг с другом векторов представляется неоправданным, так как просто увеличивает размерности данных, внося в них мало нового по существу. Поэтому возникает задача *исключения избыточности системы классов распознавания*, т.е. выбора из всей системы классов распознавания такого минимального их набора, в котором профили классов минимально коррелируют друг с другом, *т.е. ортогональны в фазовом пространстве признаков*. Это условие в теории рядов называется "ортонормируемостью" системы базовых функций, а в факторном анализе связано с идеей выделения "главных компонент".

В предлагаемой математической модели реализованы два варианта выхода из данной ситуации:

- 1) исключение неформирующихся, расплывчатых классов;
- 2) объединение почти идентичных по содержанию (дублирующих друг друга) классов.

Но выбрать нужный вариант и реализовать его, используя соответствующие режимы, пользователь технологии АСК-анализа должен сам. Вся необходимая и достаточная информация для принятия соответствующих решений предоставляется пользователю инструментария АСК-анализа.

Если считать, что функции образов составляют формально–логическую систему, к которой применима теорема Геделя, то можно сформулировать эту теорему для данного случая следующим образом: ***"Для любой системы базисных функций в принципе всегда может существовать по крайней мере одна такая функция, что она не может быть разложена в ряд по данной системе базисных функций, т.е. функция, которая является ортонормированной ко всей системе базисных функций в целом"***.

Очевидно, не взаимосвязанными друг с другом могут быть только четко оформленные, детерминистские образы, т.е. образы с высокой степенью редукции ("степень сформированности конструкта"). Поэтому в процессе выявления взаимно–ортогональных базисных образов в первую очередь будут выброшены аморфные "расплывчатые" образы, которые связаны практически со всеми остальными образами.

В некоторых случаях результат такого процесса представляет интерес и это делает оправданным его реализацию. Однако можно предположить, что и наличие расплывчатых образов в системе является оправданным, так как в этом случае система образов не будет формальной и подчиняющейся теореме Геделя, следовательно, система распознавания будет более полна в том смысле, что повысится вероятность идентификации *любого объекта*, предъявленного ей на распознавание. Конечно, уровень сходства с аморфным образом не может быть столь же высоким, как с четко оформленным, поэтому в этом случае может быть более уместно применить термин "ассоциация" или нечеткая, расплывчатая идентификация, чем "однозначная идентификация".

Итак, можно сделать следующий вывод: допустимость в математической модели СК-анализа не только четко оформленных

(детерминистских) образов, но и образов аморфных, нечетких, расплывчатых является важным достоинством данной модели. Это обусловлено тем, что данная модель обеспечивает корректные результаты анализа, идентификации и прогнозирования даже в тех случаях, когда модели идентификации и информационно-поисковые системы детерминистского типа традиционных АСУ практически неработоспособны. В этих условиях данная модель СК-анализа работает как система *ассоциативной (нечеткой) идентификации*.

*Таким образом, в предложенной семантической информационной модели при идентификации и прогнозировании по сути дела осуществляется разложение векторов идентифицируемых объектов по векторам классов распознавания, т.е. осуществляется "объектный анализ" (по аналогии с спектральным, гармоническим или Фурье-анализом), что позволяет рассматривать идентифицируемые объекты как суперпозицию обобщенных образов классов различного типа с различными амплитудами (3.68). При этом вектора обобщенных образов классов с математической точки зрения представляют собой произвольные функции, и не обязательно образуют полную и не избыточную (ортонормированную) систему функций.*

Для любого объекта всегда существует такая система базисных функций, что вектор объекта может быть представлен в форме линейной суперпозиции (суммы) этих базисных функций с различными амплитудами. Это утверждение, по-видимому, является одним из следствий фундаментальной теоремы А.Н.Колмогорова, доказанной им в 1957 году (О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиций непрерывных функций одного переменного и сложения // Докл. АН СССР, том 114, с. 953-956, 1957).

**Теорема Колмогорова:** Любая непрерывная функция от  $n$  переменных  $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$  может быть представлена в виде:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^{2n+1} \left( g_j \sum_{i=1}^n (h_{ij}(x_i)) \right) \quad (5.83)$$

где  $g_j$  и  $h_{ij}$  – непрерывные функции, причем  $h_{ij}$  не зависят от функции  $F$ .

Эта теорема означает, что для реализации функций многих переменных достаточно операций суммирования и композиции функций одной переменной. Удивительно, что в этом представлении лишь функции  $g_j$  зависят от представляемой функции  $F$ , а функции  $h_{ij}$  универсальны. Необходимо отметить, что теорема Колмогорова является обобщением теоремы В.И.Арнольда (1957), которая дает решение 13-й проблемы Гильберта.

*К сожалению определение вида функций  $h_{ij}$  и  $g_j$  для данной функции  $F$  представляет собой математическую проблему, для которой пока не найдено общего строгого решения.*

**В данной работе предлагается рассматривать предлагаемую семантическую информационную модель как один из вариантов решения этой проблемы. В этом контексте функция  $F$  интерпретируется как**

**образ идентифицируемого объекта, функция  $h_{ij}$  – как образ  $j$ -го класса, а функция  $g_j$  – как мера сходства образа объекта с образом класса.**

#### *2.5.2.5.3 Системно-когнитивный и факторный анализ. АСК-анализ, как метод переменных контрольных групп*

В науке широко известен "метод контрольных групп" (терм. авт.), позволяющий оценить влияние некоторого фактора на исследуемую группу по сравнению с контрольной, на которую он не влияет.

Обобщением метода контрольных групп является полный и дробный факторный анализ, при котором исследуется не одна контрольная группа, а столько, сколько факторов. При этом в каждой группе исследуется влияние одного фактора при остальных фиксированных. Таким образом факторный анализ можно было бы назвать "методом фиксированных контрольных групп". Факторный анализ требует проведения специально организованных экспериментов, что представляет собой проблему даже при нескольких факторах при большой длительности цикла управления (которая в АПК может составлять до десяти лет и более).

Например, для сбора исходных данных в факторном эксперименте при 3 факторах с 10 градациями каждый необходимо провести  $10^3=1000$  экспериментов. На практике это редко осуществимо.

Поэтому перед проведением факторного эксперимента обычно выбирают небольшое количество наиболее значимых или интересных факторов для исследования. Вопрос о том, какие факторы исследовать, решается самим исследователем на основе неформальных методов.

СК-анализ является обобщением метода факторного анализа в том смысле, что контрольные группы отличаются не значениями одного фактора при остальных фиксированных, а в общем случае различными комбинациями значений действующих факторов. СК-анализ позволяет выявлять и корректно исследовать влияние *тысяч факторов* на объект управления на основе непосредственно эмпирических данных, причем неполных и неупорядоченных, как в факторном эксперименте. При этом определяется и значимость факторов, что позволяет обоснованно выбрать из них небольшое количество наиболее значимых для последующего более детального исследования методом факторного анализа. Необходимо отметить, что СК-анализ является непараметрическим методом, в отличие от факторного анализа.

#### *2.5.2.5.4 Семантическая мера целесообразности информации и эластичность*

##### **Эластичность в непрерывном случае**

Рассмотрим связь эластичности и семантической меры целесообразности информации, опираясь на результаты работ автора [81, 91, 115, 135]. Пусть численное значение некоторого параметра экономической системы описывается переменной  $y$ , зависящей от фактора  $x$  и эта



зависимость описывается функцией  $y=f(x)$ . Тогда степень и направление влияния фактора  $x$  на параметр  $y$  можно численно измерить производной (3.69), представляющей собой предел отношения абсолютных изменений величин  $y$  и  $x$ :

$$y_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (5.84)$$

Однако применение производной не очень удобно, т.к. она зависит от *размерности* величин  $y$  и  $x$  и, по этой причине, обладает недостаточной *сопоставимостью* в пространстве и времени. Кроме того, сама по себе скорость абсолютного изменения некоторого параметра объекта безотносительно к средней величине этого параметра, содержит недостаточно информации об этом объекте. Например, если на очередных выборах за некоторого кандидата отдано на 500 голосов больше, чем на предыдущих, то важно знать, *а на сколько это процентов больше*. Поэтому в экономике введено понятие *эластичности*  $E_x(y)$  функции  $y=f(x)$ , которое определяется как предел отношения не абсолютных, а *относительных* изменений значений переменных  $y$  и  $x$ :

$$E_x(y) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left( \frac{\left( \frac{\Delta y}{y} \right)}{\left( \frac{\Delta x}{x} \right)} \right) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta y}{\Delta x} \cdot \frac{x}{y} \right) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} \cdot \frac{x}{y} = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{x}{y} = \frac{f'(x)}{\frac{y}{x}} = \frac{f'(x)}{\bar{f}(x)} \quad (5.85)$$

$$E_x(y) = \frac{f'(x)}{\bar{f}(x)}, \text{ где: } f'(x) - \text{производная, а } \bar{f}(x) - \text{среднее значений функции } f(x)$$

Так как  $d \ln y = dy/y$ , и  $d \ln x = dx/x$ , то эластичность можно представить в виде логарифмической производной:

$$E_x(y) = \frac{d \ln(f(x))}{d \ln(x)} \quad (5.86)$$

### Эластичность в дискретном случае

Для численных расчетов необходимо перейти к *дискретному случаю*, в частности для численного взятия производных используем *метод конечных разностей*. В конечных разностях выражение (3) принимает вид:

$$E_x(y) = \frac{\Delta \ln(f(x))}{\Delta \ln x} = \frac{\ln(f(x_2)) - \ln(f(x_1))}{\ln(x_2) - \ln(x_1)} = \frac{\ln(f(x_2)/f(x_1))}{\ln(x_2/x_1)} \quad (5.851)$$

### Свойства эластичности

Рассмотрим некоторые свойства эластичности, которые, как мы заметили, *удивительным образом* полностью или частично совпадают со свойствами логарифма (таблица 5.15).

Таблица 5.15 – Свойства эластичности и логарифма

| № | ЭЛАСТИЧНОСТЬ                                           | ЛОГАРИФМ                                                                  | Примечание                        |
|---|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Эластичность взаимно-обратной функции взаимно-обратна: | Логарифм взаимно-обратной функции равен той же функции с обратным знаком: | Совпадает по модулю (с точностью) |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                         |                            |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
|   | $E_x(y) = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{x}{y} = \frac{1}{\frac{dx}{dy} \cdot \frac{y}{x}} = \frac{1}{E_y(x)}$                                                                                                                                                                                                          | $\ln y = -(\ln 1 - \ln y) = -\ln \frac{1}{y}$                                                                           | до знака)                  |
| 2 | <p>Эластичность произведения двух функций одного аргумента равна сумме эластичностей функций:</p> $E_x(uv) = \frac{d(uv)}{dx} \cdot \frac{x}{uv} = \frac{v \left(\frac{du}{dx}\right) + u \left(\frac{dv}{dx}\right)}{uv} =$ $\frac{du}{dx} \cdot \frac{x}{u} + \frac{dv}{dx} \cdot \frac{x}{v} = E_x(u) + E_x(v)$ | <p>Логарифм произведения двух функций одного аргумента равна сумме логарифмов функций:</p> $\ln(uv) = \ln(u) + \ln(v)$  | <i>Полностью совпадает</i> |
| 3 | <p>Эластичность частного двух функций одного аргумента равна разности эластичностей функций:</p> $E_x(u/v) = \frac{d(u/v)}{dx} \cdot \frac{x}{u/v} = \frac{v \cdot du - u \cdot dv}{v^2} \cdot \frac{xv}{u} =$ $\frac{du}{dx} \cdot \frac{x}{u} - \frac{dv}{dx} \cdot \frac{x}{v} = E_x(u) - E_x(v)$               | <p>Логарифм частного двух функций одного аргумента равна разности логарифмов функций:</p> $\ln(u/v) = \ln(u) - \ln(v)$  | <i>Полностью совпадает</i> |
| 4 | <p>Эластичность показательной функции <math>y = a^x</math> пропорциональна показателю степени:</p> $E_x(y) = \frac{da^x}{dx} \cdot \frac{x}{a^x} = a^x \cdot x \cdot \frac{\ln a}{a^x} = x \cdot \ln a$                                                                                                            | <p>Логарифм показательной функции <math>y = a^x</math> пропорционален показателю степени:</p> $\ln a^x = x \cdot \ln a$ | <i>Полностью совпадает</i> |
| 5 | Область значений эластичности:<br>$-\infty < E < +\infty$ .                                                                                                                                                                                                                                                        | Область значений логарифма:<br>$-\infty < \ln < +\infty$ .                                                              | <i>Полностью совпадает</i> |

Необходимо отметить, что ряд других свойств эластичности, таких как эластичность суммы функций, эластичность линейной функции и др., *не совпадают* со свойствами логарифма. Итак, учитывая свойства эластичности 2-5 (таблица 5.15) мы видим, что *большинство свойств эластичности совпадают со свойствами логарифмической функции*. Это позволяет высказать *гипотезу*, что свойства эластичности  $E_x(y)$  схожи со свойствами количества информации  $I$ , т.к. во все выражения для количества информации Хартли-Найквиста-Больцмана, Шеннона и Харкевича входит логарифмическая функция.

Какая же из этих мер информации в наибольшей степени соответствует понятию эластичности? Ключевым в решении этого вопроса является свойство 5 (таблица 5.15):

- область значений мер Хартли-Найквиста-Больцмана и Шеннона изменяется от 0 до  $+\infty$ ;

- область значений меры Харкевича, как и эластичности, изменяется от  $-\infty$  до  $+\infty$ , как и эластичности.

Однако классическая мера семантической целесообразности информации мера Харкевича не удовлетворяет *принципу соответствия* с мерой Хартли в детерминистском случае, поэтому автором данной работы в

[81] предложена *системная мера целесообразности информации (СМЦИ)* –  $I_{ij}(W, M)$ . В отличие от эластичности  $E_x(y)$ , которая определена для однозначной функции одного аргумента,  $I_{ij}(W, M)$  определена для многозначной функции многих аргументов.

Таким образом, *системная мера целесообразности информации, предложенная в настоящем исследовании, имеет математические свойства сходные со свойствами эластичности многозначной функции многих аргументов.*

#### 2.5.2.5.5 Связь семантической информационной модели с нейронными сетями

В 1943 году Дж. Маккалоки и У. Питт предложили формальную модель биологического нейрона как устройства, имеющего несколько входов (входные синапсы – дендриты), и один выход (выходной синапс – аксон). Дендриты получают информацию от источников информации (рецепторов)  $L_i$ , в качестве которых могут выступать и нейроны. Набор входных сигналов  $\{L_i\}$  характеризует объект или ситуацию, обрабатываемую нейроном. Каждому  $i$ -му входу  $j$ -го нейрона ставится в соответствие некоторый весовой коэффициент  $I_{ij}$ , характеризующий степень влияния сигнала с этого входа на аргумент передаточной (активационной) функции, определяющей сигнал  $Y_j$  на выходе нейрона. В нейроне происходит взвешенное *суммирование* входных сигналов, и далее это значение используется как *аргумент* активационной (передаточной) функции нейрона. На рисунке 37 данная модель приведена в обозначениях, принятых в настоящей работе.

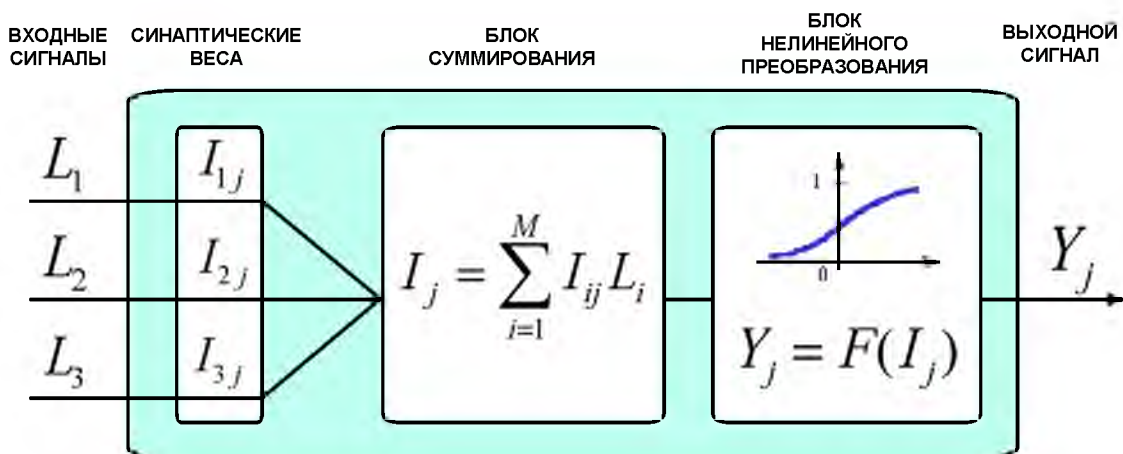


Рисунок 5.14 - Классическая модель нейрона Дж. Маккалоки и У. Питта (1943) в обозначениях системной теории информации

#### Метафора нейросетевого представления семантической информационной модели

В данной работе предлагается представление, согласно которому каждый нейрон отражает определенное будущее состояние активного объекта управления, а нейронная сеть в целом – систему будущих состояний, как желательных (целевых), так и нежелательных. Весовые коэффициенты на

дендридах нейронов имеют смысл силы и направления влияния факторов на переход активного объекта управления в то или иное будущее состояние. Таким образом, предложенная в данной работе семантическая информационная модель в принципе допускает представление в терминах и понятиях нейронных сетей. Однако при более детальном рассмотрении выясняется, что семантическая информационная модель является более общей, чем нейросетевая и для полного их соответствия необходимо внести в нейросетевую модель ряд дополнений.

### **Соответствие основных терминов и понятий**

Предлагается следующая система соответствий, позволяющая рассматривать термины и понятия из теории нейронных сетей и предложенной семантической информационной модели практически как синонимы. Нейрон – вектор обобщенного образа класса в матрице информативностей. Входные сигналы – факторы (признаки). Весовой коэффициент – системная мера целесообразности информации. Обучение сети – *адаптация* модели, т.е. перерасчет значений весовых коэффициентов дендритов для каждого нейрона (матрицы информативностей) и изменение вида активационной функции. Самоорганизация сети – *синтез* модели, т.е. изменение количества нейронов и дендритов, изменение количества нейронных слоев и структуры связей между факторами и классами, а затем адаптация (перерасчет матрицы информативностей). Таким образом, адаптация – это обучение сети на уровне изменения информационных весовых коэффициентов и активационной функции, а синтез – на уровне изменения размерности и структуры связей нейронов сети. 1-й (входной) слой нейронной сети – формирование обобщенных образов классов. Сети Хопфилда и Хэмминга – обучение с учителем, сопоставление описательной и классификационной информации, идентификация и прогнозирование. 2-й слой, сети Хебба и Кохонена – самообучение, анализ структуры данных без априорной классификационной информации, формирование кластеров классов и факторов. 3-й слой – формирование конструкторов (в традиционных нейронных сетях не реализовано). Необходимо отметить, что любой слой нейронной сети является в предлагаемой модели не только обрабатывающим, но и выходным, т.е. с одной стороны дает результаты обработки информации, имеющие самостоятельное значение, а с другой – предоставляет информацию для последующих слоев нейронной сети, т.е. более высоких уровней иерархии информационной системы (в полном соответствии с формализуемой когнитивной концепцией).

### **Недостатки нейронных сетей и пути их преодоления в семантической информационной модели**

К основным недостаткам нейронных сетей можно отнести:

1. Сложность содержательной интерпретации смысла интенсивности входных сигналов и весовых коэффициентов (*"проблема интерпретируемости весовых коэффициентов"*).

2. Сложность содержательной интерпретации и обоснования аддитивности аргумента и вида активационной (передаточной) функции нейрона ("проблема интерпретируемости передаточной функции").

3. "Комбинаторный взрыв", возникающий при определении структуры связей нейронов, подборе весовых коэффициентов и передаточных функций ("проблема размерности").

Проблемы интерпретируемости приводят к снижению ценности полученных результатов работы сети, а проблема размерности – к очень жестким ограничениям на количество выходных нейронов в сети, на количество рецепторов и на сложность структуры взаимосвязей нейронов с сети. Достаточно сказать, что количество выходных нейронов в реальных нейронных сетях, реализуемых на базе известных программных пакетов, обычно не превышает несколько сотен, а чаще всего составляет единицы и десятки.

### Гипотеза о нелокальности нейрона и информационная нейросетевая парадигма

**Модель нелокального нейрона:** так как сигналы на дендридах различных нейронов вообще говоря коррелируют (или антикоррелируют) друг с другом, то, значения весовых коэффициентов, а значит и выходное значение на аксоне каждого конкретного нейрона вообще говоря не могут быть определены с использованием значений весовых коэффициентов на дендридах только данного конкретного нейрона, а должны учитывать интенсивности сигналов на всей системе дендридов *нейронной сети в целом* (рисунок 5.15).

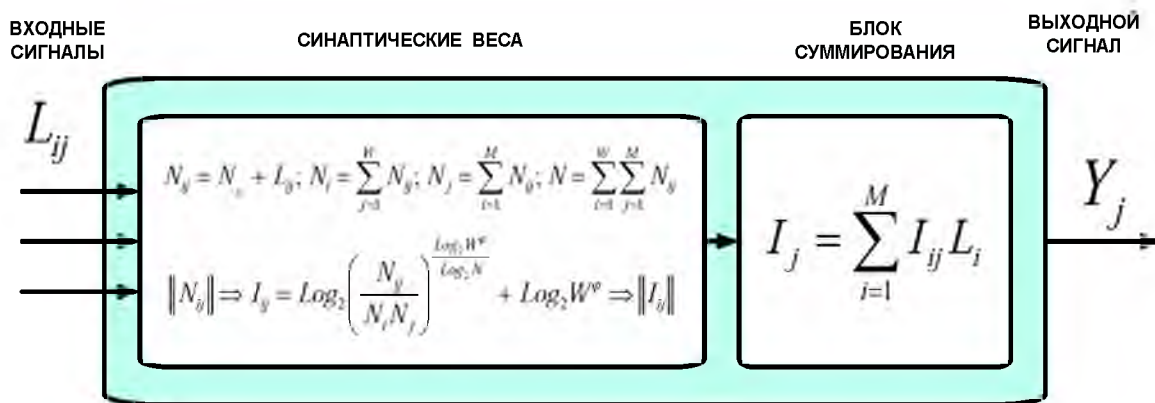


Рисунок 5.15 - Модель нелокального нейрона в обозначениях системной теории информации (СТИ)

За счет учета корреляций входных сигналов (если они фактически присутствуют в структуре данных), т.е. наличия *общего самосогласованного* информационного поля исходных данных всей нейронной сети (информационное пространство), нелокальные нейроны ведут себя так, как будто связаны с другими нейронами, хотя могут быть и не связаны с ними синаптически по входу и выходу ни прямо, ни опосредованно. Самосогласованность семантического информационного пространства означает, что *учет любого одного нового факта в информационной модели*

вообще говоря приводит к изменению всех весовых коэффициентов **всех** нейронов, а не только тех, на рецепторе которых обнаружен этот факт и тех, которые непосредственно или опосредованно синаптически с ним связаны.

В традиционной (т.е. локальной) модели нейрона весовые коэффициенты на его дендридах однозначно определяются заданным выходом на его аксоне и никак не зависят от параметров других нейронов, с которыми с нет прямой или опосредованной синаптической связи. Это связано с тем, что в общепринятой энергетической парадигме Хопфилда весовые коэффициенты дендридов имеют смысл *интенсивностей* входных воздействий. В методе "обратного распространения ошибки" процесс переобучения, т.е. интерактивного перерасчета весовых коэффициентов, начинается с нейрона, состояние которого оказалось ошибочным и захватывает только нейроны, ведущие от рецепторов к данному нейрону. Корреляции между локальными нейронами обусловлены сочетанием трех основных причин:

- наличием в исходных данных определенной структуры: корреляцией входных сигналов;
- синаптической связью локальных нейронов;
- избыточностью (дублированием) нейронной сети.

*Решение проблемы интерпретируемости весовых коэффициентов (семантическая мера целесообразности информации и закон Фехнера)*

В данной работе предлагается использовать такие весовые коэффициенты дендридов, чтобы активационная функция была линейной, т.е. по сути была равна своему аргументу: сумме. Этому условию удовлетворяют весовые коэффициенты, рассчитываемые с применением системного обобщения формулы Харкевича (3.28).

Очень важно, что данная мера, удовлетворяет известному эмпирическому закону Г.Фехнера (1860), согласно которому существует *логарифмическая* зависимость между интенсивностью фактора и величиной отклика на него биологической системы (в частности, величина ощущения прямо пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя).

Предлагается **информационный подход** к нейронным сетям, по аналогии с энергетическим подходом Хопфилда (1980).

Суть этого подхода состоит в том, что интенсивности входных сигналов рассматриваются не сами по себе и не с точки зрения только их **интенсивности**, а как сообщения, несущие определенное количество **информации** или **дезинформации** о переходе нейрона и моделируемого им активного объекта управления в некоторое будущее состояние.

*Под интенсивностью входного сигнала на определенном дендрите мы будем понимать абсолютную частоту (количество) встреч фактора (признака), соответствующего данному дендриду, при предъявлении нейронной сети объекта, соответствующего определенному нейрону. Таким образом матрица абсолютных частот рассматривается как способ*

накопления и первичного обобщения эмпирической информации об интенсивностях входных сигналов на дендридах в разрезе по нейронам.

**Весовые коэффициенты**, отражающие влияние каждого входного сигнала на отклик каждого нейрона, т.е. величину его возбуждения или торможения, представляют собой элементы матрицы информативностей, получающиеся из матрицы абсолютных частот **методом прямого счета** с использованием выражения для семантической меры целесообразности информации (3.28).

При этом предложенная мера семантической целесообразности информации, как перекликается с нейронными сетями Кохонена, в которых также принято стандартизировать (нормализовать) входные сигналы, что позволяет в определенной мере уйти от многообразия передаточных функций.

Наличие ясной и обоснованной интерпретации весовых коэффициентов, как количества информации, позволяет предложить в качестве математической модели для их расчета системную теорию информации (СТИ).

*Семантическая информационная модель, как нелокальная нейронная сеть*

Учитывая большое количество содержательных параллелей между семантической информационной моделью и нейронными сетями предлагается рассматривать данную модель как нейро-сетевую модель, основанную на системной теории информации. В данной модели предлагается вариант решения важных ней-росетевых проблем интерпретируемости и ограничения раз-мерности за счет введения меры целесообразности информации (системное обобщение формулы Харкевича), обеспечивающей *прямой расчет* интерпретируемых весовых коэффициентов на основе непосредственно эмпирических данных. Итак, в данной работе предлагается новый класс нейронных сетей, основанных на семантической информационной модели и информационном подходе. Для этих сетей предлагается полное наименование: "Не-локальные интерпретируемые нейронные сети прямого счета" и сокращенное наименование: "Нелокальные нейронные сети".

Нелокальная нейронная сеть является системой нелокаль-ных нейронов, обладающей качественно новыми (системными, эмерджентными) свойствами, не сводящимися к сумме свойств нейронов. В такой сети поведение нейронов определяется как их собственными свойствами и поступающими на них входными сигналами, так и свойствами нейронной сети в целом, т.е. пове-дение нейронов в нелокальной нейронной сети согласовано друг с другом не только за счет их прямого и опосредованного синаптического взаимодействия (как в традиционных нейронных сетях), но за счет общего информационного поля весовых коэф-фициентов всех нейронов данной сети.



### *Гипотеза о физической природе нелокального взаимодействия нейронов в нелокальной нейронной сети*

В данной работе предлагается математическая модель, численный метод и программный инструментарий нелокальных нейронных сетей (универсальная когнитивная аналитическая система "Эйдос"), успешно апробированные в ряде предметных областей. Данная система обеспечивает неограниченное количество слоев ННС при максимальном количестве весовых коэффициентов в слое до 16 миллионов и до 4000 выходных нейронов (в текущей версии 12.5 при решении ряда задач эти ограничения сняты). Но если рассматривать нелокальную нейронную сеть как модель реальных "биологических" нейронных сетей, то ясно, что формальной модели недостаточно и необходимо дополнить ее физической моделью о природе каналов нелокального взаимодействия нейронов в данной сети. По мнению автора данный механизм основан на парадоксе Эйнштейна-Подольского-Розена (ЭПР) [10, 27, 264]. По мнению автора, физическая реализация нелокальных нейронов может быть осуществлена за счет соединения как минимум одного дендрита каждого нейрона с датчиком микротелекинетического воздействия, на который человек может оказывать влияние дистанционно. Некоторые из подобных датчиков описаны в работе [27] и более подробно на сайте автора <http://lc.kubagro.ru>. По мнению автора, квантовые компьютеры, основанные не на математических и программных моделях, а на физических нелокальных нейронах, могут оказаться во многих отношениях функционально эквивалентными физическому мозгу и организму.

#### *Решение проблемы интерпретируемости передаточной функции*

Вопрос об интерпретируемости передаточной функции нейрона включает два основных аспекта:

- об интерпретируемости *аргумента* передаточной функции;
- об интерпретируемости *вида* передаточной функции.

1. Возникает естественный вопрос о том, чем обосновано включение в состав модели нейрона Дж. Маккалоки и У. Питтом именно аддитивного элемента, суммирующего входные сигналы, а не скажем мультипликативного или в виде функции общего вида. По мнению автора такой выбор обоснован и имеет явную и убедительную интерпретацию именно в том случае, когда весовые коэффициенты имеют смысл количества информации, т.к. в этом случае данная мера представляет собой неметрический критерий сходства (3.37), основанный на лемме Неймана-Пирсона. **Сумма** весовых коэффициентов, соответствующих набору действующих факторов (входных сигналов) дает величину выходного сигнала на аксоне каждого нейрона.

2. Вид передаточной функции содержательно в теории нейронных сетей явно не обосновывается. Предлагается гипотеза, что на практике вид передаточной функции подбирается таким образом, чтобы соответствовать смыслу подобранных в данном конкретном случае весовых коэффициентов. Так как при применении в различных предметных областях смысл весовых



коэффициентов в явном виде не контролируется и может отличаться, то выбор вида передаточной функции позволяет частично компенсировать эти различия.

Предлагаемый интерпретируемый вид весовых коэффициентов обеспечивает единую и стандартную интерпретацию аргумента и значения передаточной функции независимо от предметной области. Поэтому в нелокальной нейронной модели передаточная функция нейрона всегда линейна (аргумент равен функции). Следовательно в модели нелокального нейрона блок суммирования по сути дела объединен с блоком нелинейного преобразования (точнее, второй отсутствует, а его роль выполняет блок суммирования), в отличие от стандартных передаточных функций локальных нейронов: логистической, гиперболического тангенса, пороговой линейной, экспоненциально рас-пределенной, полиномиальной и импульсно-кодовой.

Нелокальные нейроны как бы "резонируют" на ансамбли входных сигналов, причем *этот резонанс может быть обосо-ванно назван семантическим (смысловым)*, т.к. весовые коэффициенты рассчитаны на основе предложенной семантической меры целесообразности информации. Таким образом, разложение вектора идентифицируемого объекта в ряд по векторам обобщенных образов классов осуществляется на основе семантического резонанса нейронов выходного слоя на ансамбль входных сигналов (признаков, факторов).

#### **Решение проблемы размерности**

Вместо итерационного подбора весовых коэффициентов путем полного перебора вариантов их значений при малых вариациях (методы обратного распространения ошибки и градиентного спуска к локальному экстремуму) предлагается **прямой расчет** этих коэффициентов на основе процедуры и выражений, обосо-ванных в предложенных системной теории информации и семантической информационной модели. Выигрыш во времени и используемых вычислительных ресурсах, получаемый за счет этого, быстро возрастает при увеличении размерности нейронной сети.

#### **Моделирование причинно-следственных цепочек в нейронных сетях и семантической информационной модели**

Факторы описывают причины, а классы – следствия. Но и следствия в свою очередь являются причинами более отдаленных последствий. Предлагаемая семантическая информационная модель позволяет рассматривать события, обнаружение которых осуществляется в режиме идентификации, как причины последующих событий, т.е. как факторы, их вызывающие. При этом факт наступления этих событий моделируется путем включения в модель факторов, соответствующих классам (событиям). В нейронных сетях этот процесс моделируется путем включения в сеть дополнительных нейронных слоев и создания обратных связей между слоями, обеспечивающих передачу в предыдущие слои результатов работы последующих слоев.

## Моделирование иерархических структур обработки информации

Рассмотрим иерархическую структуру информации на примере использования психологического теста для оценки психологических качеств сотрудников и влияния этих качеств на эффективность работы фирмы. В нейронной сети иерархическим уровням обработки информации соответствуют слои, поэтому далее будем использовать термины "слой нейронной сети" и "иерархический уровень обработки информации" как синонимы. Рецепторы дают информацию по ответам сотрудника на опросник, нейроны 1-го слоя дают оценку психологических качеств и сигнал с их аксонов является входным для нейронов 2-го слоя, дающих оценку качества работы фирмы. В семантической информационной модели существует три варианта моделирования подобных иерархических структур обработки информации:

1. Заменить все слои одним слоем и выявлять зависимости непосредственно между исходными данными с первичных рецепторов и интересующими итоговыми оценками, например, ответами сотрудников на вопросы и результатами работы фирмы. Этот подход эффективен с прагматической точки зрения, но дает мало информации для теоретических обобщений.

2. Каждый слой моделируется отдельной семантической информационной моделью, включающей свои классификационные и описательные шкалы и градации, обучающую выборку, матрицы абсолютных частот и информативностей. Вся система иерархической обработки информации моделируется системой этих моделей, взаимосвязанных друг с другом по входу-выходу: результаты классификации объектов обучающей выборки 1-й моделью рассматриваются как свойства этих объектов во 2-й модели, в которой они используются для классификации 2-го уровня. Например, психологические качества сотрудников, установленные в результате психологического тестирования, рассматриваются как свойства сотрудников, влияющие на эффективность работы фирмы. Данный подход эффективен и с прагматической, и с теоретической точек зрения, но является громоздким в программной реализации.

3. Моделирование каждого слоя соответствующими подматрицами матриц абсолютных частот и информативностей (таблица 5.16).

Таблица 5.16 – Логическая модель структуры данных семантической информационной модели, соответствующая трехслойной нелокальной нейронной сети

|                                                               |                                                                   |                                                                 |                                                            |                                               |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Рецепторы – факторы, влияющие на поведение объекта управления | Нейроны - будущие состояния объекта управления                    |                                                                 |                                                            | Дифференцирующая способность входного сигнала |
|                                                               | <b>Нейроны 1-го слоя:</b><br>психологические качества сотрудников | <b>Нейроны 2-го слоя:</b><br>успешность деятельности сотрудника | <b>Нейроны 3-го слоя:</b><br>успешность деятельности фирмы |                                               |

|                                                                     |                                       |                                       |                                       |                                    |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Рецепторы 1-го слоя:</b><br>ответы сотрудников на вопросы анкеты | <b>Весовые коэффициенты 1-го слоя</b> | ---                                   | ---                                   |                                    |
| <b>Рецепторы 2-го слоя:</b><br>Психологические качества сотрудников | ---                                   | <b>Весовые коэффициенты 2-го слоя</b> | ---                                   |                                    |
| <b>Рецепторы 3-го слоя:</b><br>успешность деятельности сотрудника   | ---                                   | ---                                   | <b>Весовые коэффициенты 3-го слоя</b> |                                    |
| Степень обученности нейрона                                         |                                       |                                       |                                       | Степень обученности нейронной сети |

Этот вариант обладает преимуществами первых двух и преодолевает их недостатки. В нем применяется следующий итерационный алгоритм послойного расчета, где  $n=\{1, 2, \dots, N\}$ ,  $N$  – количество слоев нейронной сети:

Шаг  $n$ : расчет весовых коэффициентов  $n$ -го слоя, идентификация объектов обучающей выборки в нейронах  $n$ -го слоя, если слой  $(n+1)$  существует, то занесение в обучающую выборку в качестве свойств объектов  $(n+1)$ -го слоя результатов их идентификации в нейронах  $n$ -го слоя.

**Примечание:** в таблице 5.16 представлена именно логическая структура данных, т.е. в реальных базах данных нет записей, содержащих информацию о влиянии рецепторов  $n$ -го слоя на нейроны слоев, номера которых не равны  $n$ .

### Нейронные сети и СК-анализ

Известные в литературе нейронные сети, в отличие от предлагаемой семантической информационной модели и нелокальных нейронных сетей, не обеспечивают реализацию всех базовых когнитивных операций, входящих в когнитивный конфигуратор. В частности, традиционные нейронные сети решают лишь задачу идентификации (прогнозирования) и не обеспечивают решение обратной задачи (дедукции), необходимой для принятия решения о выборе многофакторного управляющего воздействия. Кроме того не решается вопрос об уменьшении размерности нейронной сети без ущерба для ее адекватности (абстрагирование).

Результаты численного моделирования и исследования свойств нейронных сетей этого класса при управлении в АПК и других предметных областях позволяют предположить, в качестве модели реальных когнитивных процессов они обладает более высокой адекватностью, чем нейронные сети других типов.

### Графическое отображение нейронов и Парето-подмножеств нелокальной нейронной сети

Ниже приводятся примеры графического отображения нелокального нейрона и Парето-подмножества (нейронов с наиболее значимыми связями) нелокальной нейронной сети в системе "Эйдос" (рисунки 5.16-5.17).

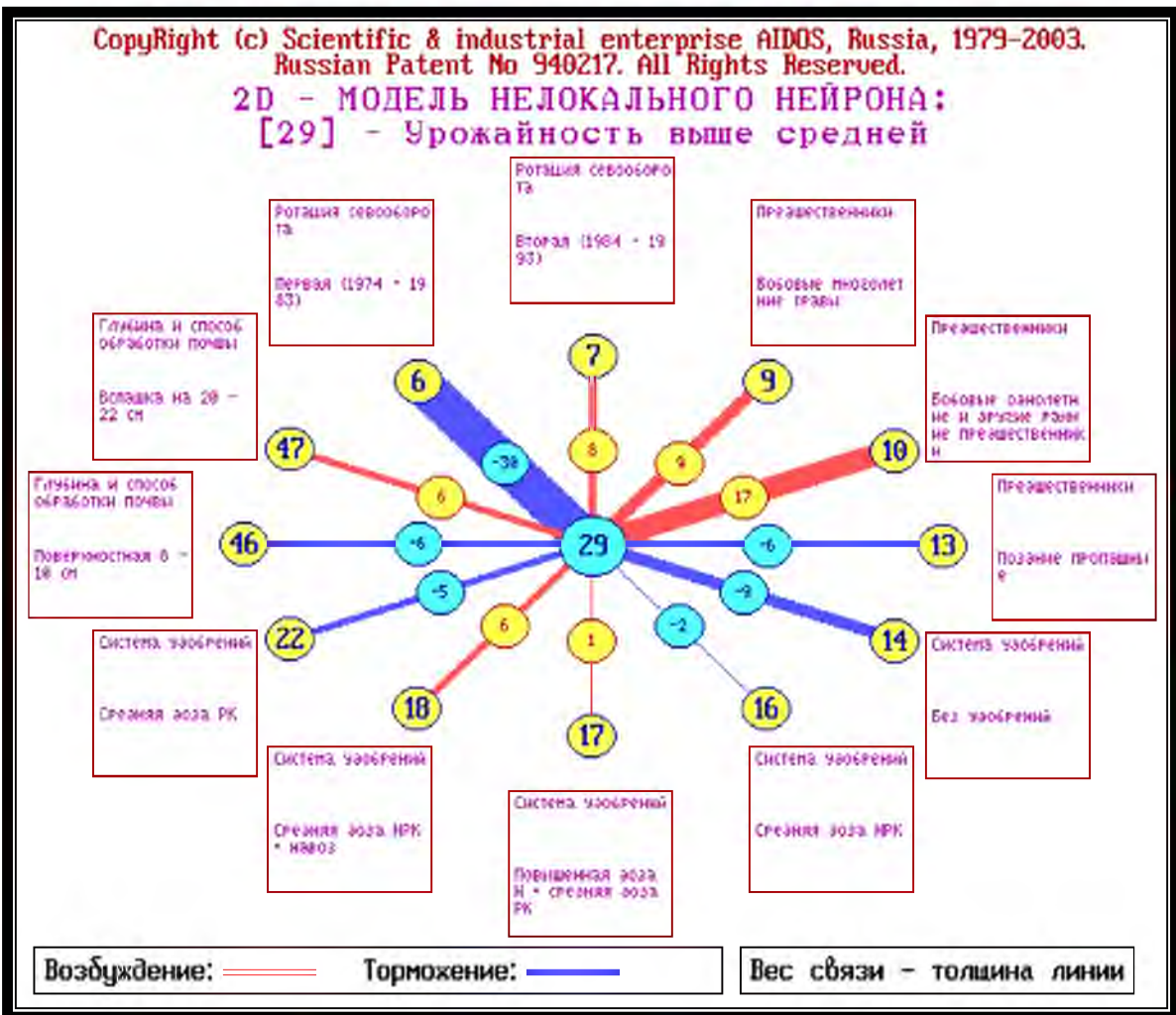


Рисунок 5.14 - Графическое отображение нелокального нейрона в системе "Эйдос"

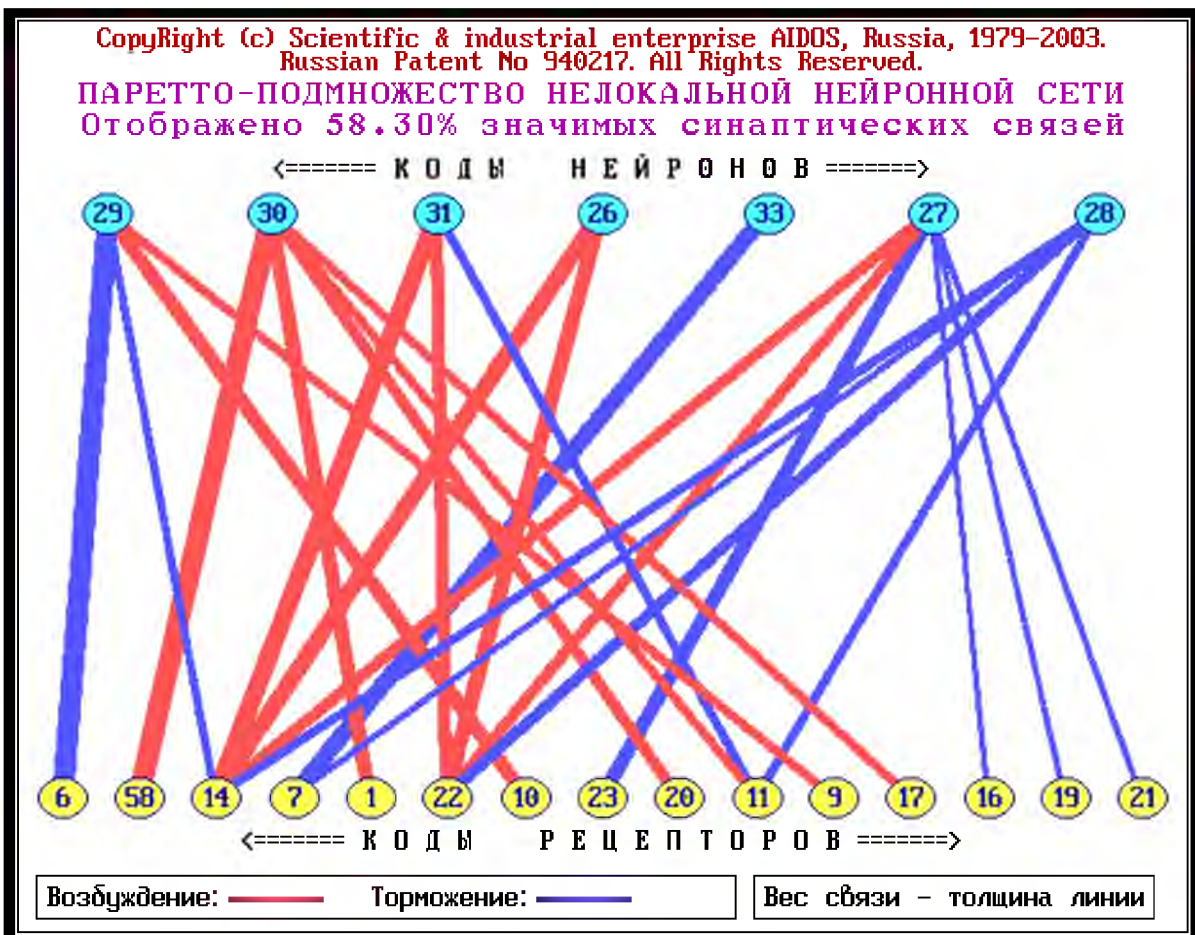


Рисунок 5.15 - Графическое отображение нелокальной нейронной сети в системе "Эйдос"

#### 2.4.2.5.6 Математический метод АСК-анализа в свете идей интервальной бутстрепной робастной статистики объектов нечисловой природы

##### Постановка проблемы

Современный этап развития информационных технологий характеризуется быстрым ростом производительности компьютеров облегчением доступа к ним. С этим связан возрастающий интерес к использованию компьютерных технологий для организации мониторинга различных объектов, анализа данных, прогнозирования и управления в различных предметных областях. И у исследователей, и у руководителей, имеются определенные ожидания и надежды на повышение эффективности применения компьютерных технологий.

Однако на пути реализации этих ожиданий имеются определенные сложности, связанные с относительным отставанием в развитии математических методов и реализующего их программного инструментария.

И анализ, и прогнозирование, и управление самым непосредственным образом основываются на математическом моделировании объектов. Математическое моделирование в свою очередь предполагают возможность выполнения всех арифметических операций (сложение, вычитание,

умножение и деление) над отображениями объектов в моделях и над их элементами.

В практике интеллектуального анализа данных в экономике, социологии, психологии, педагогике и других предметных областях все чаще встречаются ситуации, когда необходимо в рамках единой математической модели *совместно* обрабатывать числовые и нечисловые данные.

В свою очередь числовые данные могут быть различной природы и, соответственно, измеряться в самых различных единицах измерения. Ясно, что арифметические операции можно выполнять только над числовыми данными, измеряемыми в одних единицах измерения.

Данные нечисловой природы, т.е. различные факты и события, характеризуются тем, что с ними вообще нельзя выполнять арифметические операции.

Соответственно, *возникает потребность в математических методах и программном инструментарии, обеспечивающих совместную сопоставимую обработку разнородных числовых данных и данных нечисловой природы.*

### **Традиционные пути решения проблемы**

Традиционно при необходимости проведения подобных исследований реализуется один из двух вариантов, т.е. либо изучается подмножество однородных по своей природе данных, измеряемых в одних единицах измерения; либо перед исследованием данные приводятся к сопоставимому виду, например, широко используются процентные или другие относительные величины, реже – стандартизированные значения.

Ясно, что первый вариант является не решением проблемы, а лишь ее вынужденным обходом, обусловленным ограничениями реально имеющегося в распоряжении исследователей инструментария.

Второй вариант лишь частично решает проблему, т.к. хотя и снимает различие в единицах измерения, но не преодолевает принципиального различия между количественными и качественными (нечисловыми) величинами и не позволяет обрабатывать их совместно в рамках единой модели.

В последние годы развивается ряд новых методов статистики, полный обзор которых дан в работах А. И. Орлова [<http://antorlov.chat.ru>]. Прежде всего, это интервальная статистика, статистика объектов нечисловой природы, робастные, бутстрепные и непараметрические методы.

В частности методы интервальной статистики, позволяют сводить числовые величины к фактам попадания их значений в определенные интервалы, т.е. к событиям. При этом преодолевается проблема различия в размерности числовых величин. Это обеспечивает также обработку числовых величин, как событий *совместно* с информацией о других событиях, связанных с объектами нечисловой природы. Таким образом, *интервальные методы сводят обработку числовых величин к методам обработки нечисловой информации* и позволяет обрабатывать их *единообразно по одной методике*. И это является очень важным достижением.

### **Идея решения проблемы**

Это, в общем-то, вполне очевидный и естественный ход. Однако достигается этот результат *дорогой ценой*, т.е. путем сведения числовых величин к нечисловым, т.е. путем сведения их к "низменному типу", что приводит к утрате ряда возможностей обработки. Это происходит потому, что для числовых величин существует гораздо больше методов и возможностей обработки, чем для нечисловых.

*По нашему мнению более предпочтительным является противоположный подход, основанный на введении некоторой количественной меры, позволяющей единым и сопоставимым образом описывать как числовые данные различной природы, так и нечисловые величины с использованием всего арсенала возможностей, имеющегося при обработке числовых данных.*

Аналогично, если у нас есть документы стандартов "Документ Word" и "Текст-DOS" и мы хотели бы обрабатывать их все в одном редакторе, то это можно сделать либо преобразовав все документы Word в "низменный стандарт" "Текст-DOS", либо наоборот, преобразовав "досовские" документы в формат Word.

В 1979 году автором разработана, а в 1981 году впервые применена математическая модель, обеспечивающая реализацию этой идеи. В последующем этот математический аппарат был развит в ряде работ, основной из которых является [81], был разработана соответствующая ему методика численных расчетов, включающая структуры данных и алгоритмы базовых когнитивных операций, а также создана программная система "Эйдос", реализующая математическую модель и методику численных расчетов [76-155, 185-192].

Предложенный метод получил название "Системно-когнитивный анализ" (СК-анализ) [81]. В СК-анализе нечисловым величинам тем же методом, что и числовым, приписываются сопоставимые в пространстве и времени, а также между собой, количественные значения, позволяющие обрабатывать их как числовые.

### **АСК-анализ включает следующие этапы:**

1. Когнитивная структуризация, а затем и формализация предметной области.
2. Ввод данных мониторинга в базу прецедентов за период, в течение которого имеется необходимая информация в электронной форме.
3. Синтез семантической информационной модели (СИМ).
4. Оптимизация СИМ.
5. Проверка адекватности СИМ (измерение внутренней и внешней, дифференциальной и интегральной валидности).
6. Анализ СИМ.
7. Решение задач идентификации состояний объекта управления, прогнозирование и поддержка принятия управленческих решений по управлению с применением СИМ.



На первых двух этапах СК-анализа, детально рассмотренных в работе [81], числовые величины сводятся к интервальным оценкам, как и информация об объектах нечисловой природы (фактах, событиях). Этот этап реализуется и в методах интервальной статистики.

На третьем этапе СК-анализа всем этим величинам по единой методике, основанной на системном обобщении семантической теории информации А.Харкевича, сопоставляются количественные величины, с которыми в дальнейшем и производятся все операции моделирования.

Математическая модель СК-анализа

Системное обобщение формулы Хартли

В выражении (3) приведено системное обобщение формулы Хартли для равновероятных состояний объекта управления.

$$I = \text{Log}_2 W \quad (1) \quad I = \text{Log}_2 (C_W^1 + C_W^2 + \dots + C_W^M) \quad (4)$$

$$I = \text{Log}_2 W^\varphi \quad (2) \quad \text{при } M = W : \sum_{m=1}^M C_W^m = 2^W - 1 \quad (5)$$

$$I = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m$$

(3)

$$I = \text{Log}_2 (2^W - 1) \approx W$$

при  $W \gg 1$ ;  $I \approx W$  с очень малой

и быстро уменьшающейся погрешностью

(6)

$W$  – количество чистых (классических) состояний системы.

$\varphi$  – коэффициент эмерджентности Хартли (уровень системной организации объекта, имеющего  $W$  чистых состояний).

Гипотеза о Законе возрастания эмерджентности

Исследование математических выражений системной теории информации (7 – 12) позволило сформулировать гипотезу о существовании "Закона возрастания эмерджентности". Суть этой гипотезы в том, что в самих элементах системы содержится сравнительно небольшая доля всей содержащейся в ней информации, а основной ее объем составляет системная информация, содержащаяся в подсистемах различного уровня иерархии.

Различие между классическим и предложенным системным понятиями информации соответствует различию между понятиями МНОЖЕСТВА И СИСТЕМЫ, на основе которых они сформированы.

$$I = \text{Log}_2 W^\varphi = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m \quad (7)$$

$$\varphi = \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log}_2 W} \quad (8)$$

$$I(W, M) = \text{Log}_2 W \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log}_2 W} \quad (9)$$

$$I(W, M) \approx \text{Log}_2 W \frac{W}{\text{Log}_2 W} = W \quad (10)$$



$$I_{\text{системная}} \approx W - \text{Log}_2 W \quad (11) \quad I(W, M) = \text{Log}_2 W + \text{Log}_2 W^{\varphi-1} \quad (12)$$

Математическая формулировка:

$$\varphi = \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log}_2 W} \approx \frac{W}{\text{Log}_2 W}$$

$$I_{\text{системная}} \approx W - \text{Log}_2 W$$

Интерпретация



Системное обобщение формулы Харкевича

Ниже приведен вывод системного обобщения формулы Харкевича, а именно:

- классическая формула Харкевича через вероятности перехода системы в целевое состояние при условии сообщения ей определенной информации и самопроизвольно (13);
- выражение классической формулы Харкевича через частоты (14, 15);
- вывод коэффициента эмерджентности Харкевича на основе принципа соответствия с выражением Хартли в детерминистском случае (16 -19);
- вывод системного обобщения формулы Харкевича;
- окончательное выражение для системного обобщения формулы Харкевича (21).

Классическая формула Харкевича

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_j} \quad (13)$$

$P_{ij}$  – вероятность перехода объекта управления в  $j$ -е состояние в условиях действия  $i$ -го фактора;

$P_j$  – вероятность самопроизвольного перехода объекта управления в  $j$ -е состояние, т.е. в условиях отсутствия действия  $i$ -го фактора или в среднем.

Известно, что *корреляция не является мерой причинно-следственных связей*. Если корреляция между действием некоторого фактора и переходом объекта управления в определенное состояние высока, то это еще не значит, что данный фактор является причиной этого перехода. Для того чтобы по корреляции можно было судить о наличии причинно-следственной связи необходимо сравнить исследуемую группу с *контрольной группой*, т.е. с группой, в которой данный фактор не действовал.

Также и высокая вероятность перехода объекта управления в определенное состояние в условиях действия некоторого фактора сама по себе не говорит о наличии причинно-следственной связи между ними, т.е. о том, что данный фактор обусловил переход объекта в это состояние. Это связано с тем, что вероятность перехода объекта в это состояние может быть вообще очень высокой независимо от действия фактора. Поэтому в качестве меры силы причинной обусловленности определенного состояния объекта действием некоторого фактора Харкевич предложил логарифм *отношения* вероятностей перехода в объекта в это состояние в условиях действия фактора и при его отсутствии или в среднем (13).

***Таким образом семантическая мера информации Харкевича является мерой наличия причинно-следственных связей между факторами и состояниями объекта управления.***

*Выражение классической формулы Харкевича через частоты фактов*

$$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j}; P_i = \frac{N_i}{N}; P_j = \frac{N_j}{N}; \quad (14)$$

$$\text{где: } N_i = \sum_{j=1}^W N_{ij}; N_j = \sum_{i=1}^M N_{ij}; N = \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^M N_{ij}$$

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \frac{N_{ij} N}{N_i N_j} \quad (15)$$

*Вывод коэффициента эмерджентности Харкевича на основе принципа соответствия с выражением Хартли в детерминистском случае*

Однако мера Харкевича (13) не удовлетворяет принципу соответствия мерой Хартли как мера Шеннона, т.е. не переходит в меру Хартли в детерминистском случае, т.е. когда каждому будущему состоянию объекта управления соответствует единственный уникальный фактор и между факторами и состояниями имеется взаимно однозначное соответствие (17).

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}N}{N_i N_j} \right)^\Psi \quad (16) \quad \forall N_{ij} = N_i = N_j = 1 \quad (17)$$

Откуда:

$$I_{ij} = \text{Log}_2 N^\Psi = \text{Log}_2 W^\varphi \quad (18) \quad \boxed{\Psi = \frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}} \quad (19)$$

Вывод системного обобщения формулы Харкевича

$$\Psi = \frac{\text{Log} \sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log} W} \quad (20) \quad \begin{aligned} I_{ij} &= \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}N}{N_i N_j} \right)^\Psi = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}N}{N_i N_j} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}} = \\ &= \frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N} \left( \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_i N_j} \right) + \text{Log}_2 N \right) = \\ &= \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_i N_j} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}} + \text{Log}_2 W^\varphi \end{aligned}$$

Окончательное выражение для системного обобщения формулы Харкевича

$$\boxed{I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_i N_j} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}} + \text{Log}_2 W^\varphi} \quad (21)$$

Связь системной теории информации (СТИ) с теорией Хартли-Найквиста-Больцмана и теорией Шеннона. Связь между выражениями для плотности информации в теориях Хартли, Шеннона и СТИ приведена («»).



Коэффициент эмерджентности Харкевича (характеризует детерминированность системы):

$$\Psi = \frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}$$

Коэффициент эмерджентности Хартли (характеризует "эффект системы"):

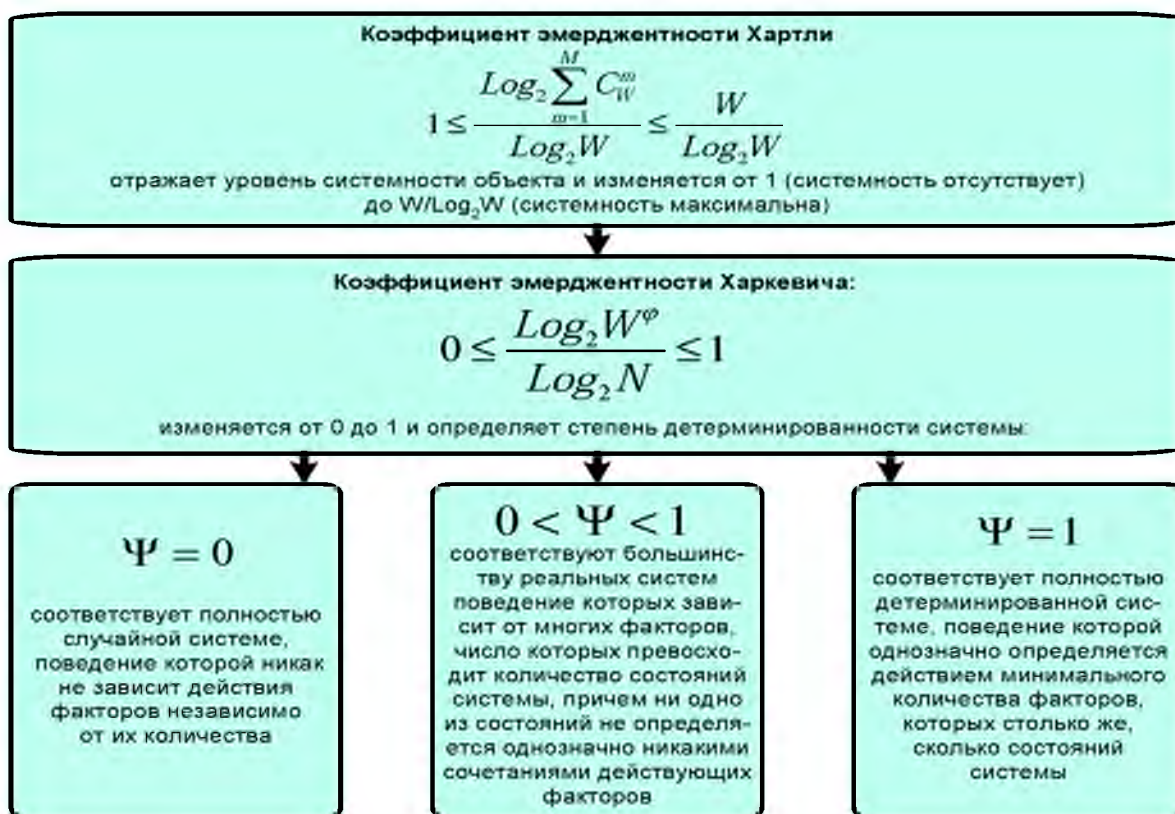
$$\varphi = \frac{\text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m}{\text{Log}_2 W}$$

**ОБОЗНАЧЕНИЯ:**  
W - количество классов (мощность множества будущих состояний объекта управления)  
M - максимальный уровень сложности смешанных состояний объекта управления  
N<sub>ij</sub> - суммарное количество встреч i-го фактора у объектов, перешедших в j-е состояние  
N<sub>j</sub> - суммарное количество встреч различных факторов у объектов, перешедших в j-е состояние  
N<sub>i</sub> - суммарное количество встреч i-го фактора у всех объектов  
N - суммарное количество встреч различных факторов у всех объектов  
C<sub>W</sub><sup>m</sup> - количество сочетаний из W по m

(12) Связь между выражениями для плотности информации в теориях Хартли, Шеннона и СТИ

Интерпретация коэффициентов эмерджентности СТИ

Интерпретация коэффициентов эмерджентности, предложенных в рамках системной теории информации, приведена в (13).



(13) Интерпретация коэффициентов эмерджентности СТИ

*Коэффициент эмерджентности Хартли  $\varphi$  (5.4) представляет собой относительное превышение количества информации о системе при учете системных эффектов (смешанных состояний, иерархической структуры ее подсистем и т.п.) над количеством информации без учета системности, т.е. этот коэффициент является аналитическим выражением для уровня системности объекта.*

*Коэффициент эмерджентности Харкевича  $\Psi$ , изменяется от 0 до 1 и определяет степень детерминированности системы.*

Таким образом, в предложенном системном обобщении формулы Харкевича (12) впервые непосредственно в аналитическом выражении для самого понятия "Информация" отражены такие фундаментальные свойства систем, как "Уровень системности" и "Степень детерминированности" системы.

Основной формой первичного обобщения эмпирической информации в модели является матрица абсолютных частот (14). В этой матрице строки соответствуют факторам, столбцы – будущим целевым и нежелательным состояниям объекта управления, а на их пересечении приведено количество наблюдения фактов (по данным обучающей выборки), когда действовал некоторый  $i$ -й фактор и объект управления перешел в некоторое  $j$ -е состояние.

(14) Матрица абсолютных частот

| Атрибуты                                                                                           |     | Классы - будущие состояния объекта управления |                             |                         |                             |     | Сумма                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----|----------------------------------------|
|                                                                                                    |     | Целевые состояния                             |                             | Нежелательные состояния |                             |     |                                        |
|                                                                                                    |     | ***                                           | J                           | ***                     | I                           | *** |                                        |
| Факторы, характеризующие текущее и прошлые состояния объекта управления, в т.ч. его рефлексивность | *** |                                               |                             |                         |                             |     |                                        |
|                                                                                                    | r   |                                               | $N_{rj}$                    |                         | $N_{ri}$                    |     | $N_r = \sum_{j=1}^W N_{rj}$            |
| Управляющие факторы системы управления                                                             | *** |                                               |                             |                         |                             |     |                                        |
|                                                                                                    | i   |                                               | $N_{ij}$                    |                         | $N_{ii}$                    |     | $N_i = \sum_{j=1}^W N_{ij}$            |
| Факторы, характеризующие прошлые, текущее и прогнозируемые состояния окружающей среды              | *** |                                               |                             |                         |                             |     |                                        |
|                                                                                                    | k   |                                               | $N_{kj}$                    |                         | $N_{ki}$                    |     | $N_k = \sum_{j=1}^W N_{kj}$            |
| Сумма                                                                                              |     |                                               | $N_j = \sum_{i=1}^M N_{ij}$ |                         | $N_i = \sum_{i=1}^M N_{ii}$ |     | $N = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij}$ |

где:

$N_{ij}$  – количество встреч i-го признака у объектов j-го класса по данным обучающей выборки

Непосредственно на основе матрицы абсолютных частот с использованием системного обобщения формулы Харкевича (15) рассчитывается матрица информативностей (15)

### (15) Матрица информативностей

| Атрибуты                                                                                           |     | Классы - будущие состояния объекта управления |                                                                                                                                        |                         |                                                                                                                                        |     | Средняя детерминирующая мощность фактора                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                    |     | Целевые состояния                             |                                                                                                                                        | Нежелательные состояния |                                                                                                                                        |     |                                                                                       |
|                                                                                                    |     | ***                                           | J                                                                                                                                      | ***                     | I                                                                                                                                      | *** |                                                                                       |
| Факторы, характеризующие текущее и прошлые состояния объекта управления, в т.ч. его рефлексивность | *** |                                               |                                                                                                                                        |                         |                                                                                                                                        |     |                                                                                       |
|                                                                                                    | r   |                                               | $I_{rj} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{rj} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij}}{\sum_{i=1}^M N_{ij} \cdot \sum_{j=1}^W N_{ij}}$ |                         | $I_{ri} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{ri} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij}}{\sum_{i=1}^M N_{ij} \cdot \sum_{j=1}^W N_{ij}}$ |     | $\sigma_r = \sqrt{\frac{1}{W-1} \sum_{i=1}^W (I_{r0} - \bar{I}_r)^2}$                 |
| Управляющие факторы системы управления                                                             | *** |                                               |                                                                                                                                        |                         |                                                                                                                                        |     |                                                                                       |
|                                                                                                    | i   |                                               | $I_{ij} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{ij} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij}}{\sum_{i=1}^M N_{ij} \cdot \sum_{j=1}^W N_{ij}}$ |                         | $I_{ii} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{ii} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij}}{\sum_{i=1}^M N_{ij} \cdot \sum_{j=1}^W N_{ij}}$ |     | $\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{W-1} \sum_{j=1}^W (I_{i0} - \bar{I}_i)^2}$                 |
| Факторы, характеризующие прошлые, текущее и прогнозируемые состояния окружающей среды              | *** |                                               |                                                                                                                                        |                         |                                                                                                                                        |     |                                                                                       |
|                                                                                                    | k   |                                               | $I_{kj} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{kj} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij}}{\sum_{i=1}^M N_{ij} \cdot \sum_{j=1}^W N_{ij}}$ |                         | $I_{ki} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{ki} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij}}{\sum_{i=1}^M N_{ij} \cdot \sum_{j=1}^W N_{ij}}$ |     | $\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{W-1} \sum_{i=1}^W (I_{k0} - \bar{I}_k)^2}$                 |
| Средняя детерминированность будущих состояний АОУ                                                  | *** |                                               |                                                                                                                                        |                         |                                                                                                                                        |     |                                                                                       |
|                                                                                                    |     |                                               | $\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (I_{j0} - \bar{I}_j)^2}$                                                                  |                         | $\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (I_{i0} - \bar{I}_i)^2}$                                                                  |     | $H = \sqrt{\frac{1}{(W \cdot M - 1) \sum_{j=1}^W \sum_{i=1}^M (I_{ij} - \bar{I})^2}}$ |

$$\bar{I}_j = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I_{ij}$$

– среднее значение координат вектора класса, M – количество факторов.

$$\bar{I}_i = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^W I_{ij}$$

– среднее значение координат вектора фактора, W – количество классов (будущих состояний АОУ).

$$\bar{I} = \frac{1}{W \cdot M} \sum_{j=1}^W \sum_{i=1}^M I_{ij}$$

– средняя информативность признаков по матрице информативностей.

$$\varphi = \frac{\text{Log}_2 \sum_{i=1}^M C_i^n}{\text{Log}_2 W}$$

φ – коэффициент эмерджентности Хартли.

$$\Psi = \frac{\text{Log}_2 W^p}{\text{Log}_2 N}$$

Ψ – коэффициент эмерджентности Харкевича,

H – мера уровня системности предметной области в рамках СИ

Матрица информативностей является универсальной формой представления смысла эмпирических данных в единстве их дискретного и интегрального представления (причины – последствия, факторы –

результатирующие состояния, признаки – обобщенные образы классов, образное – логическое, дискретное – интегральное).

Весовые коэффициенты матрицы информативностей непосредственно определяют, какое количество информации  $I_{ij}$  система управления получает о наступлении события: "объект управления перейдет в  $j$ -е состояние", из сообщения: "на объект управления действует  $i$ -й фактор".

Когда количество информации  $I_{ij} > 0$  –  $i$ -й фактор способствует переходу объекта управления в  $j$ -е состояние, когда  $I_{ij} < 0$  – препятствует этому переходу, когда же  $I_{ij} = 0$  – никак не влияет на это.

*Таким образом, предлагаемая семантическая информационная модель позволяет непосредственно на основе эмпирических данных и независимо от предметной области рассчитать, какие количество информации содержится в любом событии о любом другом событии.*

*Этот вывод является ключевым для данной работы, т.к. конкретно показывает возможность числовой обработки в СК-анализе как числовой, так и нечисловой информации.*

Матрица информативностей является также обобщенной (неклассической) таблицей решений, в которой входы (факторы) и выходы (будущие состояния объекта управления) связаны друг с другом не с помощью классических (Аристотелевских) импликаций, принимающих только значения: "Истина" и "Ложь", а различными значениями истинности, выраженными в битах и принимающими значения от положительного теоретически-максимально-возможного, до теоретически неограниченного отрицательного. Некоторые неклассические высказывания, генерируемые на основе матрицы информативности, приведены на плакате.

Неметрический интегральный критерий сходства, основанный на лемме Неймана-Пирсона

В выражениях (16-18) приведен неметрический интегральный критерий сходства, основанный на фундаментальной лемме Неймана-Пирсона, обеспечивающий идентификацию и прогнозирование в предложенных неортонормированных семантических пространствах с финитной метрикой, в которых в качестве координат векторов будущих состояний объекта управления и факторов выступает количество информации, рассчитанное в соответствии с системной теорией информации (15), а не Булевы координаты или частоты, как обычно.

$$I_j = f(I_{ij}^p). \quad (22) \quad I_j = (I_{ij}^p, L_i^p). \quad (16)$$

Или в координатной форме:

$$I_j = \sum_{i=1}^M I_{ij} L_i, \quad (24) \quad j^* = \arg \max_{j \in J} ((I_{ij}^p, L_i^p)), \quad (17)$$

$I_{ij}^p = \{I_{ij}\}$  – вектор  $j$ -го состояния объекта управления;

$\vec{L}_i = \{L_i\}$  – вектор состояния предметной области, включающий все виды факторов, характеризующих объект управления, возможные управляющие воздействия и окружающую среду (массив–локатор), т.е.:

$$L_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й фактор действует;} \\ \alpha_i, & \text{где } 0 < \alpha_i < 1, \text{ если } i\text{-й фактор действует с истинностью } \alpha_i; \\ 0, & \text{если } i\text{-й фактор не действует.} \end{cases}$$

$$I_j = \frac{1}{\sigma_j \sigma_1 M} \sum_{i=1}^M (I_{ij} - \bar{I}_j) (L_i - \bar{L}), \quad (26) \quad I_{ij} \rightarrow \frac{I_{ij} - \bar{I}_j}{\sigma_j}, \quad L_i \rightarrow \dots \quad (18)$$

$\bar{I}_j$  – средняя информативность по вектору класса;

$\bar{L}$  – среднее по вектору идентифицируемой ситуации (объекта).

$\sigma_j$  – среднеквадратичное отклонение информативностей вектора класса;

$\sigma_1$  – среднеквадратичное отклонение по вектору распознаваемого объекта.

Связь системной меры целесообразности информации с критерием  $\chi^2$

В (19–26) показана связь системной меры целесообразности информации с известным критерием  $\chi^2$ , а также предложен новый критерий уровня системности предметной области, являющийся нормированным объемом семантического пространства (34, 35).

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^W \sum_{i=1}^M \frac{(N_{ij} - t)^2}{t} \quad (19) \quad t = \frac{N_i N_j}{N} \quad (20)$$

–  $N_{ij}$  – фактическое количество встреч  $i$ -го признака у объектов  $j$ -го класса;

–  $t$  – ожидаемое количество встреч  $i$ -го признака у объектов  $j$ -го класса.

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij} N}{N_i N_j} \right)^\Psi \quad (21) \quad I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{t} \right)^\Psi \quad (22)$$

$$I_{ij} = \Psi(\text{Log}_2 N_{ij} - \text{Log}_2 t) \quad (23) \quad \begin{cases} \text{если } N_{ij} < t \text{ то } \chi_{ij} > 0, & I_{ij} < 0 \\ \text{если } N_{ij} = t \text{ то } \chi_{ij} = 0, & I_{ij} = 0 \\ \text{если } N_{ij} > t \text{ то } \chi_{ij} > 0, & I_{ij} > 0 \end{cases} \quad (24)$$



$$H = \sqrt{\frac{1}{(W \cdot M - 1)} \sum_{j=1}^W \sum_{i=1}^M (I_{ij} - \bar{I})^2} \quad (25) \quad \bar{I} = \frac{1}{W \cdot M} \sum_{j=1}^W \sum_{i=1}^M I_{ij} \quad (26)$$

Предлагается более точный критерий уровня системности модели является объем неортонормированного семантического пространства, рассчитанный как объем многомерного параллелепипеда, ребрами которого являются оси семантического пространства. Однако для этой меры сложнее в общем виде записать аналитическое выражение и для ее вычисления могут быть использованы численные методы с использованием многомерного обобщения смешанного произведения векторов.

***Абстрагирование (ортонормирование) существенно уменьшает размерность семантического пространства без существенного уменьшения его объема.***

Оценка адекватности семантической информационной модели в СК-анализе и бутстрепные методы

Под адекватностью модели СК-анализа понимается ее внутренняя и внешняя дифференциальная и интегральная валидность. Понятие валидности является уточнением понятия адекватности, для которого определены процедуры количественного измерения, т.е. валидность – это количественная адекватность. Это понятие количественно отражает способность модели давать правильные результаты идентификации, прогнозирования и способность вырабатывать правильные рекомендации по управлению.

Под внутренней валидностью понимается валидность модели, измеренная после синтеза модели путем идентификации объектов обучающей выборки.

Под внешней валидностью понимается валидность модели, измеренная после синтеза модели путем идентификации объектов, не входящих в обучающую выборку.

Под дифференциальной валидностью модели понимается достоверность идентификации объектов в разрезе по классам.

Под интегральной валидностью средневзвешенная дифференциальная валидность.

Возможны все сочетания: внутренняя дифференциальная валидность, внешняя интегральная валидность и т.д.

Основная идея бутстрепа по Б.Эфрону [107] состоит в том, что методом Монте-Карло (статистических испытаний) многократно извлекаются выборки из эмпирического распределения. Эти выборки, естественно, являются вариантами исходной, напоминают ее.

Эта идея позволяет сконструировать алгоритм измерения адекватности модели, состоящий из двух этапов:

1. Синтез модели на одном случайном подмножестве обучающей выборки.

2. Измерение валидности модели на оставшемся подмножестве обучающей выборки, не использованном для синтеза модели.

Поскольку оба случайных подмножества имеют переменный состав по объектам обучающей выборки, то подобная процедура должна повторяться много раз, после чего могут быть рассчитаны статистические характеристики адекватности модели, например, такие как:

- средняя внешняя валидность;
- среднеквадратичное отклонение текущей внешней валидности от средней и другие.

Достоинство бутстрепного подхода к оценке адекватности модели состоит в том, что он позволяет измерить внешнюю валидность на уже имеющейся выборке и изучить статистические характеристики, характеризующие адекватность модели при изменении объема и состава выборки.

Непараметричность модели. Робастные процедуры и фильтры для исключения артефактов

Предложенная семантическая информационная модель является *непараметрической*, т.к. базируется на системной теории информации [81], которая никоим образом не основана на предположениях о нормальности распределений исследуемой выборки.

Под робастными понимаются процедуры, обеспечивающие устойчивую работу модели на исходных данных, зашумленных артефактами, т.е. данными, выпадающими из общих статистических закономерностей, которым подчиняется исследуемая выборка.

Критерий выявления артефактов, реализованный в СК-анализе, основан на том, что при увеличении объема статистики частоты значимых атрибутов растут, как правило, пропорционально объему выборки, а частоты артефактов так и остаются чрезвычайно малыми, близкими к единице. Таким образом, выявление артефактов возможно только при достаточно большой статистике, т.к. в противном случае недостаточно информации о поведении частот атрибутов с увеличением объема выборки.

В модели реализована такая процедура удаления наиболее вероятных артефактов, и она, как показывает опыт, существенно повышает качество (адекватность) модели.

### **Методика численных расчетов СК-анализа**

Детальный список БКОСА и их алгоритмов

В таблице 5.17 приведен детальный список базовых когнитивных операций системного анализа, которым соответствует 24 алгоритма, которые здесь привести нет возможности из-за их объемности. Но они все приведены в полном виде в работе [81].

Таблица 5.17 – Детальной список базовых когнитивных операций системного анализа (БКОСА)

| № алгоритма | Код БКОСА по схеме СК-анализа | № БКОСА | Наименование БКОСА                         | Полное наименование базовых когнитивных операций системного анализа (БКОСА)                                                    |
|-------------|-------------------------------|---------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             | 1.1                           | 1       | Присвоение имен                            | Присвоение имен классам (интенциональная, интегральная репрезентация)                                                          |
|             | 1.2                           |         |                                            | Присвоение имен атрибутам (экстенциональная, дискретная репрезентация)                                                         |
| 1           | 2.1.                          | 2       | Восприятие                                 | Восприятие и запоминание исходной обучающей информации                                                                         |
| 2           | 2.2.                          |         |                                            | Репрезентация. Сопоставление индивидуального опыта с коллективным (общественным)                                               |
| 3           | 3.1.1.                        | 3       | Обобщение (синтез, индукция).              | Накопление первичных данных                                                                                                    |
| 4           | 3.1.2.                        |         |                                            | Исключение артефактов                                                                                                          |
| 5           | 3.1.3.                        |         |                                            | Расчет истинности смысловых связей между предпосылками и результатами (обобщенных таблиц решений)                              |
| 6           | 3.2.                          |         |                                            | Определение значимости шкал и градаций факторов, уровней Мерлина                                                               |
| 7           | 3.3.                          |         |                                            | Определение значимости шкал и градаций классов, уровней Мерлина                                                                |
| 8           | 4.1.                          | 4       | Абстрагирование                            | Абстрагирование факторов (снижение размерности семантического пространства факторов)                                           |
| 9           | 4.2.                          |         |                                            | Абстрагирование классов (снижение размерности семантического пространства классов)                                             |
| 10          | 5.                            | 5       | Оценка адекватности                        | Оценка адекватности информационной модели предметной области                                                                   |
| 11          | 7.                            | 6       | Сравнение, идентификация и прогнозирование | Сравнение, идентификация и прогнозирование. Распознавание состояний конкретных объектов (объектный анализ)                     |
| 12          | 9.1.                          | 7       | Анализ, дедукция и абдукция                | Анализ, дедукция и абдукция классов (семантический анализ обобщенных образов классов, решение обратной задачи прогнозирования) |
| 13          | 9.2.                          |         |                                            | Анализ, дедукция и абдукция факторов (семантический анализ факторов)                                                           |
| 14          | 10.1.1.                       | 8       | Классификация и генерация конструкторов    | Классификация обобщенных образов классов                                                                                       |
| 15          | 10.1.2.                       |         |                                            | Формирование бинарных конструкторов классов                                                                                    |
| 16          | 10.1.3.                       |         |                                            | Визуализация семантических сетей классов                                                                                       |
| 17          | 10.2.1.                       |         |                                            | Классификация факторов                                                                                                         |
| 18          | 10.2.2.                       |         |                                            | Формирование бинарных конструкторов факторов                                                                                   |
| 19          | 10.2.3.                       |         |                                            | Визуализация семантических сетей факторов                                                                                      |
| 20          | 10.3.1.                       | 9       | Содержательное сравнение                   | Содержательное сравнение классов                                                                                               |
| 21          | 10.3.2.                       |         |                                            | Расчет и отображение многозначных когнитивных диаграмм, в т.ч. диаграмм Мерлина                                                |
| 22          | 10.4.1.                       |         |                                            | Содержательное сравнение факторов                                                                                              |
| 23          | 10.4.2.                       |         |                                            | Расчет и отображение многозначных когнитивных диаграмм, в т.ч. инвертированных диаграмм Мерлина                                |
| 24          | 11.                           | 10      | Планирование и управление                  | Многовариантное планирование и принятие решения о применении системы управляющих факторов                                      |

Иерархическая структура данных семантической информационной модели СК-анализа

На рисунке 5.16 приведена в обобщенном виде иерархическая структура БД семантической информационной модели АСК-анализа.

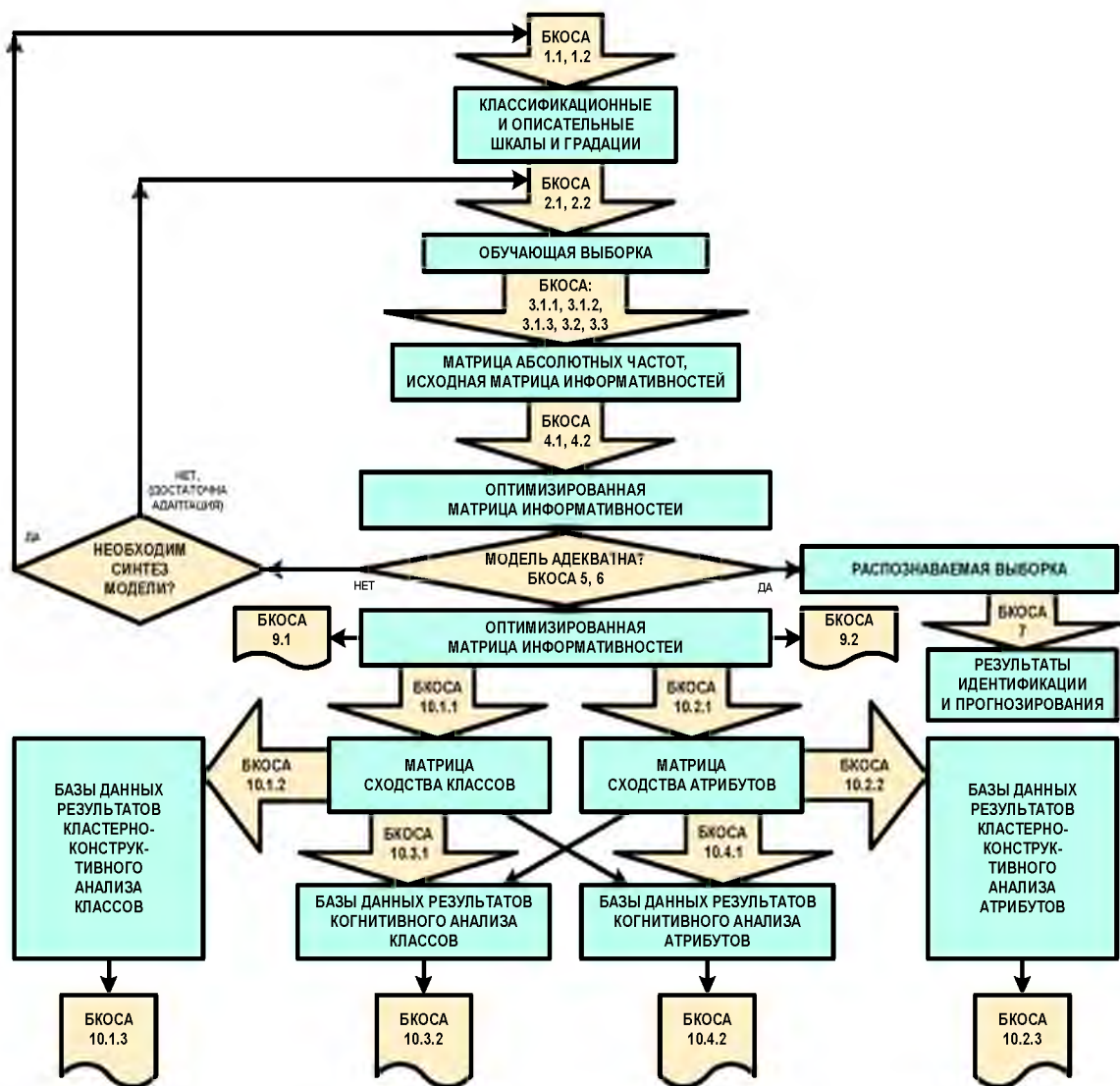


Рисунок 5.16 - Иерархическая структура баз данных семантической информационной модели системно-когнитивного анализа

На этой схеме базы данных обозначены **прямоугольниками**, а базовые когнитивные операции системного анализа, преобразующие одну базу в другую – **стрелками** с надписями. Имеются также базовые когнитивные операции, формирующие выходные графические формы. Из этой схемы видно, что одни базовые когнитивные операции готовят данные для других операций, относящихся к более высоким уровням иерархии системы процессов познания. Этим определяется возможная последовательность выполнения базовых когнитивных операций.

### Специальный программный инструментарий СК-анализа – система "Эйдос"

На таблице 26 показана обобщенная схема когнитивной аналитической системы "Эйдос", которая реализует математическую модель и численный метод системно-когнитивного анализа и, таким образом, является его инструментариумом.

В состав данной системы входит 7 подсистем.

Первые 3 подсистемы являются **инструментальными**, т.е. позволяют осуществлять **синтез и адаптацию** модели.

Остальные 4 подсистемы обеспечивают идентификацию, прогнозирование и кластерно-конструктивный анализ модели, в т.ч. верификацию модели и выработку управляющих воздействий.

Система "Эйдос" является довольно большой системой: распечатка ее исходных текстов 6-м шрифтом составляет около 800 листов, она генерирует 54 графических формы (двумерные и трехмерные) и 50 текстовых форм. На данную систему и системы окружения получено 8 свидетельств РосПатента РФ.

Таблица 5.18 – Структура и функции универсальной когнитивной аналитической системы "Эйдос-X++" версии от 31.05.2015 (показана глубина диалога главного меню, т.е. без меню, кнопок и переключателей на экранных формах)

### **1. Администрирование, Подсистема администрирования**

1.1. Авторизация, F1\_1(). Авторизация сисадмина, администратора приложения или пользователя.

1.2. Регистрация администратора приложения, F1(). Регистрация и удаление регистрации администраторов приложений и задание паролей пользователей. Этот режим доступен только системному администратору и администраторам приложений.

1.3. Диспетчер приложений, F1\_3(). Это подсистема администрирования приложений. Она предназначена для создания новых приложений, как пустых, так и на основе учебных примеров (лабораторных работ), имеющихся в системе, а также для выбора приложения для работы из уже имеющихся и удаления приложения. Выбор приложения для работы осуществляется путем отметки его любым символом. Удалять любые приложения разрешается только сисадмину, а Администратору приложений - только те, которые он сам создал.

1.4. Выбор режима использования системы, F1\_4(). Монопольный или многопользовательский (задается при инсталляции системы, но может быть изменен когда угодно сисадмином).

1.5. Задание путей на папки с группами приложений, F1\_5(). Папки с различными группами приложениями могут быть на локальном компьютере, в локальной сети или в Internet. Пути на них задаются сисадмином при инсталляции системы и могут быть изменены им когда угодно. Один из этих путей, а именно первый из отмеченный специальных символов, считается текущим и используется при СОЗДАНИИ приложений в диспетчере приложений 1.3, а в последующем при запуске приложений на исполнение пути берутся уже из БД диспетчера приложений.

1.6. Задание цветовой схемы главного меню, F1\_6(). Задается по умолчанию если в папке с системой нет файла: ColorSch.arx при инсталляции системы, но может быть изменена когда угодно сисадмином.

1.7. Задание размера главного окна в пикселях, F1\_7(). Задается по умолчанию 1024 x 769 если в папке с системой нет файла: \_MainWind.arx при инсталляции системы, но может быть изменена когда угодно сисадмином.

1.8. Задание градиентных фонов главного окна, F1\_8(). Градиентные фоны главного окна задаются по умолчанию при инсталляции системы, но могут быть изменены когда угодно сисадмином.

1.9. Прописывание путей по фактическому положению, F1\_9(). Доступно только сисадмину. Определяет фактическое месторасположение системы и приложений и прописывает пути на них в БД: PathGrAp.DBF и Appls.dbf, а также восстанавливает имена приложений в Appls.dbf на данные им при их создании.

1.10. Инсталляция ActiveX на данном компьютере, F1\_10(). Доступно только сисадмину. Устанавливает ActiveX: RMChart.ocx, необходимый для работы профессиональной графики под MS Windows 7 и выше. При сообщении об ошибке надо в окне: <Панель управления - Учетные записи пользователей и семейная безопасность - Учетные записи пользователей - Изменение параметров контроля учетных записей> перевести ползунок до конца вниз на: "Никогда не уведомлять.." и перезагрузить компьютер.

1.11. Локализация и инициализация (сброс) системы, F1\_11(). Доступно только сисадмину. Прописывает все пути по фактическому месторасположению системы, пересоздает общесистемные базы данных, удаляет все приложения и всех пользователей. Определяет фактическое месторасположение системы и приложений, удаляет все директории приложений с поддиректориями и всеми файлами в них, а затем прописывает все пути на них по фактическому месторасположению, т.е. пересоздает и переиндексирует БД: PathGrAp.DBF, Appls.dbf и Users.dbf.

## **2. Формализация предметной области Разработка классификационных и описательных шкал и градаций и формирование обучающей выборки.**

2.1. Классификационные шкалы и градации, F2\_1("Close"). Ручной ввод-корректировка классификационных шкал и градаций.

2.2. Описательные шкалы и градации, F2("Close"). Ручной ввод-корректировка описательных шкал и градаций.

2.3. Ввод обучающей выборки.

2.3.1. Ручной ввод-корректировка обучающей выборки, F2\_3\_1().

2.3.2. Программные интерфейсы с внешними базами данных, Автоматизированная формализация предметной области.

2.3.2.1. Импорт данных из текстовых файлов, F2\_3\_1(). Универсальный программный интерфейс ввода данных из TXT, DOC и Internet (HTML) файлов неограниченного объема. Атрибуция текстов, АСК-анализ мемов.

2.3.2.2. Универсальный программный интерфейс импорта данных в систему, F2\_3(""). Режим представляет собой УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ИМПОРТА ДАННЫХ В СИСТЕМУ "ЭЙДОС-Х". Данный программный интерфейс обеспечивает автоматическое формирование классификационных и описательных шкал и градаций и обучающей выборки на основе XLS, XLSX или DBF-файла с исходными данными стандарта, описанного в Help режима. Кроме того он обеспечивает автоматический ввод распознаваемой выборки из внешней базы данных. В этом режиме может быть до 1000000 объектов обучающей выборки до 1500 шкал.

2.3.2.3. Импорт данных из транспонированных внешних баз данных, F2\_3\_3(). Режим представляет собой ПРОГРАММНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ИМПОРТА ДАННЫХ В СИСТЕМУ "ЭЙДОС-Х". Данный программный интерфейс обеспечивает автоматическое формирование классификационных и описательных шкал и градаций и обучающей выборки на основе XLS, XLSX или DBF-файла с исходными данными стандарта, описанного в Help режима стандарта, представляющего собой ТРАНСПОНИРОВАННЫЙ файл стандарта режима 2.3.2.2. Кроме того он обеспечивает автоматический ввод распознаваемой выборки из внешней базы данных. В этом режиме может быть до 1000000 шкал и до 1500 объектов обучающей выборки.

2.3.2.4. Интерфейс ввода сканированных изображений в систему "Эйдос" \_3, Razrab(). Данный режим обеспечивает кодирование и ввод в систему "Эйдос" сканированных изображений и формирование файла исходных данных "Inp\_data.xls", в котором каждое изображение представлено строкой, для их импорта в систему в режиме 2.3.2.2

2.3.2.5. Транспонирование файлов исходных данных \_3F2\_3\_5(). Данный режим обеспечивает транспонирование базы данных Inp\_data.xls и ее запись в виде файла Out\_transp.xls

2.3.2.6. Объединение нескольких файлов исходных данных в один \_3F2\_3\_6(). Данный режим обеспечивает объединение нескольких одинаковых по структуре баз данных с именами вида: "Input####.xls", где: "####" - номер файла вида: 0001,0002,...,9999, в один файл с именем: "Add\_data.xls".

2.3.3. Управление обучающей выборкой.

2.3.3.1. Параметрическое задание объектов для обработки, Razrab().

2.3.3.2. Статистическая характеристика, ручной ремонт, Razrab().

2.3.3.3. Автоматический ремонт обучающей выборки, Razrab().

2.3.4. Декодирование сочетаний признаков в обучающей выборке, Razrab().

2.4. Просмотр эвентологических баз данных, F2\_4(). Просмотр эвентологических баз данных (баз событий). в которых исходные данные закодированы с помощью классификационных и описательных шкал и градаций и представлены в форме кодов событий, между которыми существуют причинно-следственные связи.

**3. Синтез, верификация и улучшение модели Создание модели, повышение ее качества и оценка достоверности.**

3.1. Формирование базы абсолютных частот, F3\_1(.T., 0, 0, 0, .T., ""). Загрузка по очереди описаний всех объектов обучающей выборки и расчет количества встреч различных сочетаний: Принадлежность объекта к j-му классу - наличие у него i-го признака.

3.2. Расчет процентных распределений, F3(.T., 0, 0, 0, .T., ""). Расчет условных и безусловных процентных распределений

3.3. Расчет заданных из 7 моделей знаний, F3\_3(.T., 0, 0, 0, .T., "") Inf1~Prc1, Inf2~Prc2, Inf3-хи-квадрат, Inf4-roi~Prc1, Inf5-roi~Prc2, Inf6-Dp~Prc1, Inf7-Dp~Prc2.

3.4. Автоматическое выполнение режимов 1-2-3, F3\_4(.T., 0, 0, 0, .T., ""). По очереди исполняются режимы: 3.1., 3.2. и 3.3. для заданных стат.моделей и моделей знаний и затем заданная делается текущей.

3.5. Синтез и верификация заданных из 10 моделей, F3\_5(.T.). Оценивается достоверность (адекватность) заданных стат.моделей и моделей знаний. Для этого осуществляется синтез заданных моделей, обучающая выборка копируется в распознаваемую и в каждой заданной модели проводится распознавание с использованием двух интегральных критериев, подсчитывается количество верно идентифицированных и не идентифицированных, ошибочно идентифицированных и не идентифицированных объектов (ошибки 1-го и 2-го рода, как в F-критерии).

3.6. Синтез и верификация заданной группы моделей, Razrab(). В различных приложениях текущей группы приложений создаются и верифицируются модели: Abs, Prc1, Prc2, Inf1~Prc1, Inf2~Prc2, Inf3-хи-квадрат, Inf4-roi~Prc1, Inf5-roi~Prc2, Inf6-Dp~Prc1, Inf7-Dp~Prc2 с фиксированными и адаптивными интервалами со сценариями и без и для каждого класса определяется модель, в которой его идентификация осуществляется наиболее достоверно.

3.7. Повышение качества модели.

3.7.1. Поиск и удаление артефактов (робастная процедура), F3\_7\_1(). Строится частотное распределение абсолютных частот встреч признаков в классах по матрице сопряженности Abs.dbf и пользователю предоставляется возможность удалить редко встречающиеся факты (сочетания), как случайные выбросы или артефакты. Для работы профессиональной графики нужна MS Windows 7 или выше.

3.7.2. Значимость классификационных шкал, Razrab(). В данном режиме классификационные шкалы ранжируются в порядке убывания значимости, т.е. средней значимости их градаций, т.е. классов.

3.7.3. Значимость градаций классификационных шкал (классов), Razrab(). В данном режиме все градации классификационных шкал (классы) ранжируются в порядке убывания значимости, т.е. вариабельности значений частных критериев статистических баз и баз знаний.

3.7.4. Значимость описательных шкал, F3\_7\_4(). В данном режиме описательные шкалы ранжируются в порядке убывания значимости, т.е. средней значимости их градаций, т.е. признаков.

3.7.5. Значимость градаций описательных шкал (признаков), F3\_7\_5(). В данном режиме все градации описательных шкал (признаки) ранжируются в порядке убывания значимости, т.е. вариабельности значений частных критериев статистических баз и баз знаний

3.7.6. Разделение классов на типичную и нетипичную части, Razrab(). Итерационный процесс при котором на основе объектов обучающей выборки, не идентифицированных с классами, к которым они относятся, создаются классы с теми же наименованиями + уровень итерации.

3.7.7. Генерация подсистем классов и докод.об.и расп.выб., F3\_7\_7(). На основе сочетания классов по 2, 3, N формируются подсистемы классов, которые добавляются в качестве градаций в классификационные шкалы подсистем классов и в объекты обучающей и распознаваемой выборки.

3.7.8. Генерация подсистем признаков и докод.об.и расп.выб., F3\_7\_8(). На основе сочетания признаков по 2, 3, N формируются подсистемы признаков, которые добавляются в качестве градаций в описательные шкалы подсистем признаков и в объекты обучающей и распознаваемой выборки.

**4. Решение задач с применением модели. Применение модели для решения задач идентификации (распознавания), прогнозирования и поддержки принятия решений (обратная задача прогнозирования), а также для исследования моделируемой предметной области путем исследования ее модели.**

4.1. Идентификация и прогнозирование.

4.1.1. Ручной ввод-корректировка распознаваемой выборки, F4\_1\_1().

4.1.2. Пакетное распознавание в текущей модели, F4\_1(0, T., "4\_1"). Распознаются по очереди все объекты распознаваемой выборки в стат.модели или базе знаний, заданной текущей в режиме 3.3 или 5.6.

4.1.3. Вывод результатов распознавания.

4.1.3.1. Подробно наглядно: "Объект - классы", F4\_1(). Визуализация результатов распознавания в подробной наглядной форме в отношении: "Один объект - много классов" с двумя интегральными критериями сходства между конкретным образом распознаваемого объекта и обобщенными образами классов: "Семантический резонанс знаний" и "Сумма знаний".

4.1.3.2. Подробно наглядно: "Класс - объекты", F4(). Визуализация результатов распознавания в подробной наглядной форме в отношении: "Один класс - много объектов" с двумя интегральными критериями сходства между конкретным образом распознаваемого объекта и обобщенными образами классов: "Семантический резонанс знаний" и "Сумма знаний".

4.1.3.3. Итоги наглядно: "Объект - класс", F4\_3(). Отображение итоговых результатов распознавания в наглядной форме: отображаются пары: "Объект-класс" у которых наибольшее сходство по двум интегральным критериям сходства: "Семантический резонанс знаний" и "Сумма знаний". Приводится информация о фактической принадлежности объекта к классу.

4.1.3.4. Итоги наглядно: "Класс - объект", F4\_4(). Отображение итоговых результатов распознавания в наглядной форме: отображаются пары: "Класс-объект" у которых наибольшее сходство по двум интегральным критериям сходства:



"Семантический резонанс знаний" и "Сумма знаний". Приводится информация о фактической принадлежности объекта к классу.

4.1.3.5. Подробно сжато: "Объекты - классы", F4\_5(). В подробной сжатой (числовой) форме приводится информация об уровне сходства всех объектов со всеми классами по двум интегральным критериям сходства: "Семантический резонанс знаний" и "Сумма знаний", а также о фактической принадлежности объекта к классу.

4.1.3.6. Обобщ.форма по достов.моделей при разных интегральных крит., F4\_6(). Отображаются обобщенные результаты измерения достоверности идентификации по всем моделям и интегральным критериям из БД: Dost\_mod.DBF.

4.1.3.7. Обобщ.стат.анализ результатов идент. по моделям и инт.крит., F4\_7(). Отображаются результаты обобщенного стат.анализа достоверности идентификации по всем моделям и интегральным критериям из БД: VerModALL.dbf.

4.1.3.8. Стат.анализ результ. идент. по классам, моделям и инт.крит., F4\_8(). Отображаются результаты стат.анализа достоверности идентификации по всем классам, моделям и интегральным критериям из БД: VerModCls.dbf.

4.1.3.9. Распределения уровн.сходства при разных моделях и инт.крит., F4\_9(). Отображаются частотные распределения уровней сходства верно и ошибочно идентифицированных и неидентифицированных объектов при разных моделях и интегральных критериях из БД: DostRasp.dbf.

4.1.3.10. Достоверность идент. классов при разных моделях и инт.крит., F4\_10(). Отображается достоверность идентификации объектов по классам при разных моделях (т.е. разных частных критериях) и при разных интегральных критериях из БД: Dost\_cls.dbf.

4.1.4. Пакетное распознавание в заданной группе моделей, Razrab(). Распознаются по очереди все объекты распознаваемой выборки в стат.модели или базе знаний, заданной текущей, в всех моделях заданной группы моделей.

4.1.5. Докодирование сочетаний признаков в распознаваемой выборке, Razrab().

4.1.6. Назначения объектов на классы (задача о назначениях). Функционально-стоимостной анализ в управлении персоналом. Задание ограничений на ресурсы по классам. Ввод затрат на объекты. Назначения объектов на классы (LC-алгоритм и RND-алгоритм). Сравнение эффективности LC и RND алгоритмов.

4.1.7. Интерактивная идентификация - последовательный анализ Вальда, Razrab().

4.1.8. Мультираспознавание (пакетное распознавание во всех моделях), Razrab(). При идентификации объекта распознаваемой выборки с каждым классом он сравнивается в той модели, в которой этот класс распознается наиболее достоверно, как в системе "Эйдос-астра".

4.2. Типология классов и принятие решений.

4.2.1. Информационные портреты классов, F4\_1(). Решение обратной задачи прогнозирования: выработка управляющих решений. Если при прогнозировании на основе значений факторов оценивается в какое будущее состояние перейдет объект управления, то при решении обратной задачи, наоборот, по заданному целевому будущему состоянию объекта управления определяется такая система значений факторов, которая в наибольшей степени обуславливает переход в это состояние.

4.2.2. Кластерный и конструктивный анализ классов.

4.2.2.1. Расчет матриц сходства, кластеров и конструктов, F4\_1().

4.2.2.2. Результаты кластерно-конструктивного анализа, F4(). Состояния, соответствующие классам, расположенные около одного полюса конструкта, достижимы одновременно, т.к. имеют сходную систему детерминации, а находящиеся около противоположных полюсов конструкта являются альтернативными, т.е. одновременно недостижимы.

4.2.2.3. Агломеративная древовидная кластеризация классов, Razrab(). Кластеризация, путем объединения классов.

4.2.2.4. Дивизивная древовидная кластеризация классов, Razrab(). Кластеризация, путем разделения классов на типичную и нетипичную части.

4.2.3. Когнитивные диаграммы классов, F4\_3(). Данный режим показывает в наглядной графической форме какими признаками сходны и какими отличаются друг от друга заданные классы.

4.3. Типологический анализ признаков

4.3.1. Информационные портреты признаков, F4\_3\_1(). Семантический (смысловой) портрет признака или значения фактора, т.е. количественная характеристика силы и направления его влияния на поведение объекта управления

4.3.2. Кластерный и конструктивный анализ признаков.

4.3.2.1. Расчет матриц сходства, кластеров и конструкторов, F4\_3\_1().

4.3.2.2. Результаты кластерно-конструктивного анализа, F4\_3(). Признаки или градации факторов, расположенные около одного полюса конструкта, оказывают сходное влияние на объект управления, т.е. на его принадлежность к классам или его переход в состояния, соответствующие классам и могут быть заменены одни другими, а находящиеся около противоположных полюсов конструкта оказывают сильно отличающееся влияние на объект управления и не могут быть заменены одни другими.

4.3.2.3. Агломеративная древовидная кластеризация признаков, Razrab(). Кластеризация, путем объединения признаков.

4.3.3. Когнитивные диаграммы признаков, F4\_3\_3(). Данный режим показывает в наглядной графической форме какими классами сходны и какими отличаются друг от друга заданные признаки.

4.3.4. Восстановление значений функций по признакам аргумента

4.3.4.1. Восстановление значений и визуализация 1d-функций, Razrab().

4.3.4.2. Восстановление значений и визуализация 2d-функций, Razrab().

4.3.4.3. Преобразование 2d-матрицы в 1d-таблицу с признаками точек, Razrab().

4.3.4.4. Объединение многих БД: Inp\_0001.dbf и т.д. в Inp\_data.dbf, Razrab().

4.3.4.5. Помощь по подсистеме (требования к исходным данным), Razrab().

4.4. Исследование предметной области путем исследования ее модели.

4.4.1. Оценка достоверности обучающей выборки, Razrab(). Выявление объектов с нарушенными корреляциями между классами и признаками. Выявление очень сходных друг с другом объектов обучающей выборки.

4.4.2. Оценка достоверности распознаваемой выборки, Razrab(). Выявление очень сходных друг с другом объектов распознаваемой выборки.

4.4.3. Измерение адекватности 3 стат.моделей и 7 моделей знаний, Razrab(). Любой заданной или всех.

4.4.4. Измерение сходимости и устойчивости 10 моделей, Razrab().

4.4.5. Зависимость достоверности моделей от объема обучающей выборки, Razrab().

4.4.6. Измерение независимости классов и признаков (анализ хи-квадрат), Razrab().

4.4.7. Графические профили классов и признаков, Razrab().

4.4.8. Количественный SWOT-анализ классов средствами АСК-анализа, F4\_4\_8(). АСК-анализ обеспечивает построение SWOT-матрицы (модели) для заданного класса с указанием силы влияния способствующих и препятствующих факторов непосредственно на основе эмпирических данных и поэтому является инструментом автоматизированного количественного SWOT-анализа (прямая задача SWOT-анализа). Классы интерпретируются как целевые и нежелательные состояния фирмы, факторы делятся на внутренние, технологические, описывающие фирму, и внешние, характеризующие окружающую среду, а количество информации, содержащееся в значении фактора, рассматривается как сила и направление его влияния на переход фирмы в те или иные будущие состояния.

4.4.9. Количественный SWOT-анализ факторов средствами АСК-анализа, F4\_4\_9(). АСК-анализ обеспечивает построение количественной SWOT-матрицы (модели) для заданного значения фактора с указанием степени, в которой он способствует или препятствует переходу объекта управления в различные будущие состояния, соответствующие классам (обратная задача SWOT-анализа). Эта модель строится непосредственно на основе эмпирических данных и поэтому АСК-анализ может рассматриваться как инструмент автоматизированного количественного SWOT-анализа. Факторы делятся на внутренние, технологические, описывающие саму фирму, и внешние, характеризующие окружающую среду.

4.4.10. Графическое отображение нелокальных нейронов, F4\_4\_10().

4.4.11. Отображение Паретто-подмножеств нелокальной нейронной сети, Razrab().

4.4.12. Классические и интегральные когнитивные карты, Razrab().

4.5. Визуализация когнитивных функций: текущее приложение, разные модели, F4\_5(). В данном режиме осуществляется визуализация и запись когнитивных функций, созданных в текущем приложении на основе различных стат.моделей и моделей знаний.

4.6. Подготовка баз данных для визуализация когнитивных функций в Excel, F4\_6(). Данный режим готовит базы данных для визуализации в MS Excel прямых и обратных, позитивных и негативных точечных и средневзвешенных редуцированных когнитивных функций, созданных на основе различных стат.моделей и моделей знаний.

## **5. Сервис Конвертирование, печать и сохранение модели, пересоздание и переиндексация всех баз данных**

5.1. Конвертер приложения OLD => NEW, F5\_1(). Преобразование модели из стандарта БД системы Эйдос-12.5 в стандарт Эйдос-X++. Для конвертирования старого приложения надо скопировать в папку: <OldAppls> файлы: Object.Dbf, Priz\_Ob.Dbf, Priz\_Per.Dbf, Priz\_Per.Dbt, Obinfzag.Dbf, Obinfkpr.Dbf.

5.2. Конвертер приложения NEW => OLD, F5(). Преобразование модели из стандарта БД системы Эйдос-X++ в стандарт Эйдос-12.5 в папку OldAppls. Все файлы из этой папки надо скопировать в текущую папку системы "Эйдос-12.5", выполнить режимы 7.2 и 2.3.5

5.3. Конвертер всех PCX (BMP) в GIF, Razrab().

5.4. Конвер. результатов расп.для SigmaPlot, F5\_4(). Конвертирует результаты распознавания, т.е. БД Rasp.dbf в параметрическую форму в стиле: "X, Y, Z", удобную для картографической визуализации в системе SigmaPlot. Это возможно, если предварительно были выполнены режимы 3.7.7 и 3.4(3.5.) и 4.1.2.

5.5. Просмотр основных БД всех моделей, F5\_5(). Обеспечивает просмотр и экспорт в Excel основных баз данных всех статистических моделей: Abs, Prc1, Prc2 и моделей знаний: Inf1~Prc1, Inf2~Prc2, Inf3-хи-квадрат, Inf4-roi~Prc1, Inf5-roi~Prc2, Inf6-Dp~Prc1, Inf7-Dp~Prc2.

5.6. Выбрать модель и сделать ее текущей, F5\_6(4,Т,"MainMenu") Данная функция позволяет выбрать среди ранее рассчитанных в 3-й подсистеме статистических баз Abs, Prc1, Prc2 и моделей знаний INF#, текущую модель для решения в 4-й подсистеме задач идентификации, прогнозирования, притяжения решений и исследования предметной области путем исследования ее модели.

5.7. Переиндексация всех баз данных, F5\_7(). Заново создаются все необходимые для работы системы индексные массивы общесистемных баз данных (находящихся в папке с исполнимым модулем системы), а также баз данных текущего приложения, необходимые для работы с ним.

5.8. Сохранение основных баз данных модели, Razrab().

5.9. Восстановление модели из основных БД, Razrab().

5.10. Выгрузка исходных данных в "Inp\_data", F5\_10(). Данный режим выполняет функцию, обратную универсальному программному интерфейсу с внешними базами данных 2.3.2.2(), т.е. не вводит исходные данные в систему, а наоборот, формирует на

основе исходных данных файлы: Inp\_data.dbf и Inp\_data.txt, на основе которых в режиме 2.3.2.2(). можно сформировать эту же модель.

5.11. Внешнее управление системой "Эйдос", F5\_11(). Данный режим обеспечивает управление системой "Эйдос" в реальном времени со стороны внешней программы путем задания ею последовательности функций системы "Эйдос" для исполнения (по сути программы, написанной на языке "Эйдос") в специальной базе данных: "ExternalControl.dbf" и программного контроля их исполнения.

5.12. Пояснения по частн.и инт.крит.и лаб.работам, F5\_12(). Пояснения по смыслу частных и интегральных критериев и описания лабораторных работ.

## **6. О системе**

6.1. Информация о системе, разработчике и средствах разработки, F6\_1().

6.2. Ссылки на патенты, документацию и текущую версию системы, F6(). Internet-ссылки на патенты, монографии, учебные пособия, научные статьи и самую новую (на текущий момент) версию системы "Эйдос-X++", а также полный комплект документации на нее одним файлом".

6.3. Карта системы (дерево диалога), Razrab().

6.4. Порядок преобразования данных в информацию, а ее в знания, F6\_4(). В режиме раскрывается соотношение содержания понятий: "Данные", "Информация" и "Знания", а также последовательность преобразования данных в информацию, а ее в знания в системе "Эйдос-X++" с указанием имен баз данных и ссылками на основные публикации по этим вопросам

6.5. Графическая заставка системы "Эйдос-12.5", F6\_5().

6.6. Roger Donnay, Professional Developer, Developer eXPress++, F6\_6(). Roger Donnay, профессиональный разработчик программного обеспечения, разработчик высокоэффективной инструментальной системы программирования eXPress++, широко использованной при создании системы "Эйдос-X++". Roger Donnay, Professional Developer, Developer eXPress++.

6.7. Логотипы мультимodelей, F6\_7().

6.8. Свидетельство РосПатента РФ на систему "Эйдос-X++", F6\_8().

7. Выход, F7(). Закрыть все базы данных и корректно выйти из системы.

*Необходимо отметить, что все эти режимы, за исключением подсистемы администрирования и диспетчера приложений, были реализованы в предыдущей версии системы «Эйдос» и системах окружения. В текущей версии системы «Эйдос-X++» пока реализованы не все режимы системы «Эйдос», версии 12.5 (это последняя версия системы «Эйдос» под MS DOS от июня 2012 года). Такие режимы отмечены как разрабатываемые.: Razrab().*

## **Выводы**

Интервальные оценки сводят анализ чисел к анализу фактов и позволяют обрабатывать количественные величины как нечисловые данные. Это ограничивает возможности обработки количественных величин методами обработки нечисловых данных. В математической модели СК-анализа, основанной на системной теории информации, наоборот, качественным, нечисловым данным, сопоставляются количественные величины. Это позволяет использовать все возможности количественных методов для исследования нечисловых данных.

Таким образом, в СК-анализе числовые и нечисловые данные обрабатываются единообразно на основе единой математической модели как числовые данные.

Рассматривается связь метода измерения адекватности модели в СК-анализе с бутстрепными методами.

Описывается робастная процедура выявления и устранения артефактов в СК-анализе.

### ***Резюме***

1. Сформулированы требования к математической модели и к численной мере. Затем на их основе обоснован выбор базовой численной меры. Для этого рассмотрены три вида информации: абсолютная, относительная и аналитическая информация. Предпочтение отдано аналитической форме информации, к которой принадлежат относительные вероятности, относительные проценты и количество информации. Вместо традиционных мер, основанных на понятии "стоимости" и "полезности" предложено использовать информационную меру. Рассмотрены различные аспекты применения теории информации для анализа процесса труда и средств труда как информационных систем. Показано, что принятие решения об управляющем воздействии есть обратный процесс по отношению к идентификации и прогнозированию, т.е. познанию. Установлена связь количества (синтаксиса) и качества (содержания, семантики) информации, записываемой в структуре предмета труда, с меновой и потребительной стоимостью. Сформулирована информационная теория стоимости, в которой информация рассматривается как сущность стоимости и как "первичный" и по сути единственный товар. Рассмотрены вопросы определения стоимости и амортизация интеллектуальных систем и баз знаний. Показано, что их стоимость как генераторов информации возрастает в процессе эксплуатации. С позиций теории информации раскрыт фундаментальный источник экономической эффективности АСУ и систем интеллектуальной обработки данных: понижение энтропии объекта управления как приемника сообщений в результате получения управляющей информации. Сделан вывод о целесообразности выбора в качестве базовой численной меры количества информации. Поставлена задача выбора или конструирования конкретной численной меры, основанной на понятии информации.

2. В классической теории информации Шеннона, созданной на основе обобщения результатов Больцмана, Найквиста и Хартли, само понятие информации определяется на основе теоретико-множественных и комбинаторных представлений путем анализа поведения классического макрообъекта, который может переходить только в четко фиксированные альтернативные редуцированные состояния. Однако, квантовые объекты и сложные активные рефлексивные системы могут оказываться одновременно в двух и более альтернативных для классических объектов состояниях. Такие состояния названы смешанными. Таким образом, в реальности наблюдается картина последствий, не сводящаяся к простой сумме последствий альтернативных вариантов. Она больше напоминает квантовое физическое

явление, которое называется интерференцией плотности вероятности. Это явление, безусловно имеющее системный характер, предлагается называть "интерференция последствий выбора".

3. Предлагается обобщение классической теории информации Хартли-Шеннона путем рассмотрения активных объектов в качестве объектов, на основе анализа которых формируется само основополагающее понятие информации. Обобщенную таким образом теорию информации предлагается называть системной или эмерджентной теорией информации (СТИ). Основным отличием эмерджентной теории информации от классической является учет свойства системности, как фундаментального и универсального свойства всех объектов, на уровне самого понятия информации, а не только в последующем изложении, как в классической теории.

4. Предложена системная модификация формулы Хартли для количества информации:

$$I = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m$$

где:

$W$  – количество чистых (классических) состояний системы;

$C_W^m$  – сочетания "по  $m$ " классических состояний.

Так как  $C_W^1 = W$ , то при  $M=1$  выполняется принцип соответствия, являющийся обязательным для более общей теории. Данная формула дает верхнюю оценку возможного количества информации состояния системы, т.к. возможны различные правила запрета и реальное количество возможных состояний системы будет меньшим, чем  $C_W^m$ .

Предложено приближенное выражение для системной модификации формулы Хартли (при  $M=W$ ):

$$I = \text{Log}_2(2^W - 1)$$

При  $W > 4$  погрешность данного выражения не превышает 1%.

Дополнительная информация, которую мы получаем из поведения объекта в СТИ, по сути дела является информацией о множестве всех его возможных состояний, как системы, элементом которой является объект в некотором данном состоянии.

5. Численные расчеты и аналитические выкладки согласно СТИ показывают, что при возрастании количества элементов в системе доля системной информации в поведении ее элементов возрастает, причем возрастает ускоренно. Это установленное нами свойство систем названо "Законом возрастания эмерджентности".

6. Предложена системная модификация классической формулы А.Харкевича, являющееся нелинейной суперпозицией классических выражением для плотности информации Шеннона и количества информации Хартли.

$$I_{ij} = \text{Log}_2 \left( \frac{N_{ij}}{N_i N_j} \right)^{\frac{\text{Log}_2 W^\varphi}{\text{Log}_2 N}} + \text{Log}_2 W^\varphi$$

где:  $\varphi$  – коэффициент эмерджентности Хартли (уровень системной организации объекта, имеющего  $W$  чистых состояний):

$$\varphi = \left( \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_W^m \right) / \text{Log}_2 W$$

Установлено, что полученное выражение учитывает как взаимосвязь между признаками (факторами) и будущими, в т.ч. целевыми состояниями объекта управления, так и мощность множества будущих состояний. Эта мера отражает уровень системности и степень детерминированности объекта, объединяет возможности их интегрального и дискретного описания, *что является основой формализации смысла, а также* удовлетворяет принципу соответствия, т.е. преобразуется в формулу Хартли в предельном случае, когда каждому классу (состоянию объекта) соответствует один признак (фактор), и каждому признаку – один класс, и эти классы, а значит и признаки, равновероятны.

7. Все это делает семантическую меру целесообразности информации оптимальной по сформулированным критериям для целей построения семантической информационной модели активных объектов управления и для применения при синтезе рефлексивных АСУ активными системами.

8. В разработанной семантической информационной модели генерируется обобщенная таблица решений, в которой входы (факторы) и выходы будущие состояния активного объекта управления (АОУ) связаны друг с другом не с помощью классических (Аристотелевских) импликаций, принимающих только значения: "Истина" и "Ложь", а различными значениями истинности, выраженными в битах и принимающими значения от положительного теоретически-максимально-возможного ("Максимальная степень истинности"), до теоретически неограниченного отрицательного ("Степень ложности"). Синтез обобщенных таблиц решений для различных предметных областей осуществляется непосредственно на основе эмпирических исходных данных. На основе этих таблиц продуцируются прямые и обратные правдоподобные (нечеткие) логические рассуждения по неклассическим схемам с различными расчетными значениями истинности, являющимся обобщением классических импликаций. При этом в прямых рассуждениях как предпосылки рассматриваются факторы, а как заключения – будущие состояния АОУ, а в обратных – наоборот. Степень истинности  $i$ -й предпосылки – это количество информации  $I_{ij}$ , содержащейся в предпосылке о наступлении  $j$ -го будущего состояния активного объекта управления.

9. В качестве меры сходства объекта с классом, класса с классом и атрибута с атрибутом предложено использовать **неметрический** интегральный критерий, основанный на лемме Неймана-Пирсона, – суммарное количество информации. Если предпосылок несколько, то степень

истинности наступления  $j$ -го состояния АОУ равна суммарному количеству информации, содержащемуся в них об этом:

$$I_j = (\overset{P}{I}_{ij}, \overset{P}{L}_i).$$

Или в координатной форме:

$$I_j = \sum_{i=1}^A I_{ij} L_i,$$

где:  $\overset{P}{I}_{ij} = \{I_{ij}\}$  – вектор  $j$ -го состояния объекта управления, координаты которого в информационном семантическом пространстве рассчитываются согласно системного обобщения формулы Харкевича, приведенной в п.6;  $\overset{P}{L}_i = \{L_i\}$  – булев вектор состояния предметной области, включающий все виды факторов, характеризующих объект управления, возможные управляющие воздействия и окружающую среду (массив–локатор). Обоснована замена значений координат этих векторов их стандартизированными значениями.

10. Предложенная семантическая информационная модель позволяет решать задачи идентификации и прогнозирования развития активных систем (разложение вектора объекта по векторам классов – "Объектный анализ"), а также вырабатывать эффективные управляющие воздействия путем решения обратной задачи прогнозирования и применения элементов нетрадиционной логики и правдоподобных (нечетких) рассуждений. В ней объединены преимущества содержательных и статистических моделей, созданы предпосылки для реализации СК-анализа.

11. Исследована взаимосвязь примененной в модели семантической меры Харкевича со статистикой  $\chi^2$ , и, на этой основе, предложена новая статистическая мера наличия причинно-следственных связей в предметной области  $H$ , основанная на модифицированной формуле Харкевича:

$$H = \sqrt{\frac{1}{(W \cdot M - 1)} \sum_{j=1}^W \sum_{i=1}^M (I_{ij} - \bar{I})^2}$$

где:

$$\bar{I} = \frac{1}{W \cdot M} \sum_{j=1}^W \sum_{i=1}^M I_{ij} \quad \text{– средняя информативность признаков по матрице информативностей.}$$

Обоснована устойчивость модели при малых и больших выборках, дано обоснование сопоставимости частных критериев, разработана интерпретация распознавания как объектного анализа (разложение вектора объекта в ряд по векторам классов), предложены робастные процедуры, а также процедуры обеспечения структурной репрезентативности выборки.

12. Предлагается модель нелокального нейрона, являющаяся обобщением классической модели Дж. Маккалоки и У. Питта. Суть нелокальности данной модели состоит в том, что весовые коэффициенты каждого нейрона зависят не только от нейронов, прямо или косвенно



соединенных с ним синаптически, но и от всех остальных нейронов сети, не затрагиваемых при обратном распространении ошибки от данного нейрона. Предлагается новый класс нейронных сетей: "Нелокальные интерпретируемые нейронные сети прямого счета" (нелокальные нейронные сети – ННС). Организация ННС обеспечивает один из вариантов решения традиционных для нейронных сетей проблем: содержательной интерпретации смысла интенсивности входных сигналов и весовых коэффициентов ("*проблема интерпретируемости весовых коэффициентов*"); содержательной интерпретации и обоснования аддитивности аргумента и вида активационной (передаточной) функции нейрона ("*проблема интерпретируемости передаточной функции*"); "Комбинаторного взрыва" при определении структуры связей нейронов, подборе весовых коэффициентов и передаточных функций ("*проблема размерности*"). Математическая модель ННС основана на предложенной автором системной теории информации и семантической информационной модели автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ), и в отличие от известных нейронных сетей, обеспечивают автоматизацию всех 10 базовых когнитивных операций, образующих "когнитивный конфигуризатор". Предложены не только математическая модель, но также и соответствующий численный метод (включая алгоритмы и структуры данных), а также программный инструментарий нелокальных нейронных сетей (универсальная когнитивная аналитическая система "Эйдос" версии 12.5), успешно апробированные в ряде предметных областей. Данная система обеспечивает практически неограниченное количество слоев ННС, рецепторов, выходных нейронов и связывающих их весовых коэффициентов (десятки миллионов), а также автоматическую визуализацию и запись в виде графических файлов сформированных моделей нелокальных нейронов и Паретто-подмножеств нелокальной нейронной сети.

13. Введено в научный оборот новое понятие: коэффициент эмерджентности Хартли  $\varphi$ , который представляет собой относительное превышение количества информации о системе при учете системных эффектов (смешанных состояний, иерархической структуры ее подсистем и т.п.) над количеством информации без учета системности, т.е. этот коэффициент отражает уровень системности объекта. Этот уровень системности объекта изменяется от 1 (системность минимальна, т.е. отсутствует) до  $W/\log_2 W$  (системность максимальна). Для каждого количества элементов системы существует свой максимальный уровень системности, который никогда реально не достигается из-за действия правил запрета на реализацию в системе ряда подсистем различных уровней иерархии.

Введено в научный оборот новое понятие: коэффициент эмерджентности Харкевича  $\Psi$ , который изменяется от 0 до 1 и определяет степень детерминированности системы:  $\Psi=1$  соответствует полностью детерминированной системе, поведение которой однозначно определяется действием минимальным количеством факторов, которых столько же,

сколько состояний системы;  $\Psi=0$  соответствует полностью случайной системе, поведение которой никак не зависит действия факторов независимо от их количества;  $0<\Psi<1$  соответствуют большинству реальных систем, поведение которых зависит от многих факторов, число которых превосходит количество состояний системы, причем ни одно из состояний не определяется однозначно никакими сочетаниями действующих факторов. Увеличение уровня системности влияет на семантическую информационную модель аналогично повышению уровня детерминированности. Понижение уровня системности, также как и степени детерминированности системы приводит к ослаблению влияния факторов на поведение системы, т.е. к своего рода "инфляции факторов".

#### **Основной вывод:**

В предложенном системном обобщении формулы Харкевича впервые непосредственно в аналитическом выражении для самого понятия "Информация" отражены такие фундаментальные свойства систем, как "Уровень системности" и "Степень детерминированности" системы, кроме того это выражение (как и формула Шеннона) удовлетворяет принципу соответствия с выражением Хартли в детерминистском случае, учитывает понятие цели и мощность множества будущих состояний объекта управления, объединяет возможности интегрального и дискретного описания объектов. По этим причинам полученное выражение является оптимальным и его целесообразно использовать в качестве основы для построения математической модели рефлексивных АСУ активными объектами.

#### **Контрольные вопросы**

1. Предпосылки и теоретические основы системной теории информации.
2. Требования к математической модели и численной мере СТИ.
3. Выбор базовой численной меры СТИ.
4. Конструирование системной численной меры на основе базовой в СТИ.
5. Семантическая информационная модель СК-анализа.
6. Формализм динамики взаимодействующих семантических информационных пространств. Двухвекторное представление данных.
7. Применение классической теории информации К.Шеннона для расчета весовых коэффициентов и мер сходства.
8. Математическая модель метода распознавания образов и принятия решений, основанного на системной теории информации.
9. Некоторые свойства математической модели СК-анализа (сходимость, адекватность, устойчивость и др.).
10. Непараметричность модели. Робастные процедуры и фильтры для исключения артефактов в математической модели СК-анализа.
11. Зависимость информативностей факторов от объема обучающей выборки.

12. Зависимость адекватности семантической информационной модели от объема обучающей выборки (адекватность при малых и больших выборках).

13. Семантическая устойчивость модели СК-анализа.

14. Зависимость параметров модели СК-анализа от ее ортонормированности.

15. Взаимосвязь математической модели СК-анализа с другими моделями.

16. Взаимосвязь системной меры целесообразности информации со статистикой  $X^2$  и новая мера уровня системности предметной области.

17. Сравнение, идентификация и прогнозирование как разложение векторов объектов в ряд по векторам классов (объектный анализ).

18. Системно-когнитивный и факторный анализ. СК-анализ, как метод переменных контрольных групп.

19. Семантическая мера целесообразности информации и эластичность.

20. Связь семантической информационной модели с нейронными сетями.

21. Математический метод СК-анализа в свете идей интервальной бутстрепной робастной статистики объектов нечисловой природы.

Рекомендуемая литература

1. Орлов А.И. "Высокие статистические технологии": <http://antorlov.chat.ru>.

2. Луценко Е.В. Автоматизированная система распознавания образов: математическая модель и опыт применения. //В сб.: "В.И. Вернадский и современность (к 130-летию со дня рождения)". - Краснодар: КНА, 1993. - С.37-42.

3. Луценко Е.В. Теоретические основы и технология адаптивного семантического анализа в поддержке принятия решений (на примере универсальной автоматизированной системы распознавания образов "ЭЙДОС-5.1"). – Краснодар: КЮИ МВД РФ, 1996. – 280с.

4. Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем): Монография (научное издание). –Краснодар: КубГАУ. 2002. –605 с.

5. Пат. № 940217. РФ. Универсальная автоматизированная система распознавания образов "ЭЙДОС". /Е.В.Луценко (Россия); Заяв. № 940103. Оpubл. 11.05.94. – 50с.

6. Пат. № 2003610986 РФ. Универсальная когнитивная аналитическая система "ЭЙДОС" / Е.В.Луценко (Россия); Заяв. № 2003610510 РФ. Оpubл. от 22.04.2003. – 50с.

7. Луценко Е.В. Типовая методика и инструментарий когнитивной структуризации и формализации задач в СК-анализе. // Научный журнал КубГАУ. – 2004.– № 1 (3). –18 с. <http://ej.kubagro.ru>

8. Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа. - М.: Финансы и статистика, 1988. – 263 с.

2.4.3. Методика численных расчетов, в универсальной форме реализующая математическую модель АСК-анализа, включающая иерархическую структуру данных и 24 детальных алгоритма 10 базовых когнитивных операций

#### **Учебные вопросы**

1. Принципы формализации предметной области и подготовки эмпирических данных.
2. Иерархическая структура данных и последовательность численных расчетов в СК-анализе.
3. Обобщенное описание алгоритмов СК-анализа.
4. Детальные алгоритмы СК-анализа.

#### **2.4.3.1 Принципы формализации предметной области и подготовки эмпирических данных**

##### **Понятие шкалы и градации. Типы шкал**

Формализация предметной области это процесс, состоящий из двух основных этапов:

1. Конструирование шкал и градаций для описания и кодирования состояний объекта управления и факторов, влияющих на его поведение.
2. Отнесение состояний объекта управления и факторов к определенным градациям соответствующих шкал.

В данной работе предлагается следующие определения.

**Шкала** - это способ классификации объектов по наименованиям или степени выраженности некоторого свойства.

**Градация** – это положение на шкале (или интервал, диа-пазон), соответствующее наименованию или определенной степени выраженности свойства.

*Понятие шкалы тесно связано с ключевым понятием когнитивной психологии: понятием конструкта, более того, практически является синонимом или формальным аналогом этого понятия.*

Конструктом называется понятие, имеющее полюса, противоположные по смыслу, и ряд промежуточных градаций, отражающих различную степень выраженности некоторого качества. Познание состоит в создании (генерировании) новых конструктов и их использовании для ориентации в предметной области. Таким образом, формализация предметной области по сути дела представляет собой ее познание, т.е. когнитивную структуризацию. В приведенной таблице 5.19 дана характеристика измерительных шкал согласно [81]. Конечно, наименования могут быть присвоены градациям всех видов измерительных шкал.

Таблица 5.19 - Характеристики и примеры измерительных шкал

| Тип шкалы                         | Характеристики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Примеры                                                                                                                                   |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Номинальная (наименований)</b> | Объекты классифицированы, классам присвоены словесные наименования или условные номера - коды. То, что номер одного класса больше или меньше другого, еще ничего не говорит о свойствах объектов, относящихся к этим классам, за исключением того, что они различаются.                                                                                                    | Раса, Национальность, цвет глаз, номера на футболках, пол, клинические диагнозы, автомобильные номера, номера страховок.                  |
| <b>Порядковая</b>                 | Объекты классифицированы, а классы обозначены номерами (закодированы). Значения чисел, присваиваемые классам, качественно отражают степень выраженности определенных свойств предметов, принадлежащих этим классам. То есть большим значениям кодов классов соответствует и большая степень выраженности измеряемого свойства, на основании чего классы можно ранжировать. | Твердость минералов, награды за заслуги, ранжирование по индивидуальным чертам личности, военные и гражданские ранги, должности и звания. |
| <b>Интервальная</b>               | Существует единица измерения, при помощи которой классы можно не только упорядочить, но и приписать им числа так, чтобы равные разности чисел присвоенных классам, отражали равные различия в количествах измеряемых свойств. Нулевая точка интервальной шкалы произвольна (условна) и не указывает на отсутствие свойства.                                                | Календарное время, шкалы температур по Фаренгейту и Цельсию.                                                                              |
| <b>Отношений</b>                  | Числа, присвоенные классам, обладают всеми свойствами интервальной шкалы, но помимо этого на шкале существует абсолютный нуль, соответствующий полному отсутствию измеряемого свойства. Отношения чисел, присвоенных классам или объектам при измерении, отражают количественные отношения измеряемого свойства.                                                           | Рост, вес, время, цена, количество информации, температура по Кельвину (есть абсолютный нуль).                                            |

### **Шкалы классов (классификационные шкалы)**

Плодотворным является представление классов, как некоторых областей в фазовом пространстве, в котором в качестве осей координат выступают некоторые шкалы классов меньшего уровня общности или признаков. Классы распознавания могут рассматриваться, также, как градации (конкретные значения, заданные с некоторой точностью, или диапазоны – зоны), заданные на этих шкалах. Количество шкал, тип шкал и количество градаций на них в предлагаемой модели задает сам пользователь.

Если представить эти шкалы как оси координат, то, очевидно, наиболее обобщенным классам распознавания соответствуют зоны на самих осях. Кроме того возможны варианты сочетаний по 2 оси, соответствующие областям на координатных плоскостях. Существуют также области в фазовом пространстве, образованные сочетаниями градаций сразу  $n$ -го количества шкал, где  $n \leq N$ , где  $N$  - размерность фазового пространства. Естественно, пользователь может исследовать только те классы, которые его интересуют, сознательно принимая решение не рассматривать остальных. Но он должен знать, что и остальные классы также могут быть сформированы и исследованы, а для этого нужно иметь их классификацию, принцип разработки которой мы только что рассмотрели.

Конкретными реализациями обобщенных категорий могут быть объекты, их состояния или ситуации (но применять мы, как правило, будем

термин "объекты", всегда имея в виду и остальные возможные варианты). Синонимами понятия "класс" являются применяющиеся в специальной литературе термины "объекты", "категории", "образы", "эталоны", "типы", "профили", "вектора". В данной работе объекты рассматриваются как конкретные реализации классов, а классы – как обобщенные образы объектов определенной категории.

Когда классы распознавания сформированы с ними могут осуществляться три основные операции: сравнение конкретных объектов, их состояний или ситуаций с классами; сравнение классов друг с другом; вывод информации о содержании обобщенного образа класса в форме таблиц или графических диаграмм.

### **Шкалы атрибутов (описательные шкалы)**

Конкретные объекты, предъявляемые на входе модели в качестве примеров или реализаций некоторых обобщенных классов (прецедентов), описываются на языке атрибутов, т.е. признаков.

Признаки могут иметь любую *природу*, в частности: объективную - физическую, химическую и др. (вес, температура, рост); социально-экономическую (меновую и потребительную стоимость, степень амортизации, процент дивидендов); эмоционально-психологическую (привлекательный, предупредительный, исполнительный, конфликтный и т.п.).

Система признаков двухуровневая, что позволяет формализовать (шкалировать) не только качественные (да/нет), но и количественные (числовые) признаки, а также позволяет обрабатывать вопросы со многими, в том числе и неальтернативными вариантами ответов. Вопрос с вариантами ответов можно рассматривать как шкалу с градациями. Такое понимание позволяет "ввести в оборот" хорошо разработанную теорию шкалирования, что является весьма ценным. В предлагаемой модели нет ограничений на тип и количество шкал, а также на количество градаций в них (за исключением суммарного общего количества градаций. Нет в предлагаемой модели и таких искусственных ограничений, как, например, необходимость одинакового количества градаций во всех шкалах, или необходимость использовать только шкалы только одного какого-либо типа, и т.п., которые, как правило, встречаются в других системах.

В принципе могут быть сконструированы системы признаков, представляемые деревьями трех и более уровней, однако программно реализовывать их нецелесообразно, т.к. они все сводятся к двухуровневым деревьям (вопросы с вариантами ответов).

#### *2.5.3.2. Иерархическая структура данных и последовательность численных расчетов в АСК-анализе*

Рассмотрим **6 уровней базовых когнитивных операций** АСК-анализа анализа и **5-ти уровневую иерархическую структуру ее данных** (рисунок 5.17), на базе которой и реализуются эти операции.

**На 1-м уровне** непосредственно на основе исходной информации, путем применения БКОСА 2.1 и 2.2 формируется матрица абсолютных частот.

**На 2-м уровне** на основе матрицы абсолютных частот путем применения БКОСА 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.2, 3.3 формируется матрица информативностей, являющаяся основой для выполнения последующих БКОСА и обеспечивающая независимость времени их выполнения от объема обучающей выборки.

**На 3-м уровне** путем выполнения БКОСА 4.1 и 4.2 формируется оптимизированная матрица информативностей. Оптимизация обеспечивает экономию труда, времени и других затрат на эксплуатацию содержательной информационной модели.

**На 4-м уровне** с использованием оптимизированной матрицы информативностей выполняются БКОСА 9.1, 9.2, а также 10.1.1 и 10.2.1. Две последние операции обеспечивают (соответственно) создание матриц сходства классов и атрибутов, являющихся, в свою очередь, основой для реализации последующих БКОСА.

**На 5-м уровне** на основе матриц сходства путем выполнения БКОСА 10.1.2, 10.2.2, 10.3.1 и 10.4.1 рассчитываются базы данных, когнитивного и кластерно-конструктивного анализа.

**На 6-м уровне,** с использованием баз данных, созданных на 5-м уровне, реализуются БКОСА 10.1.3, 10.3.2, 10.4.2 и 10.2.3.

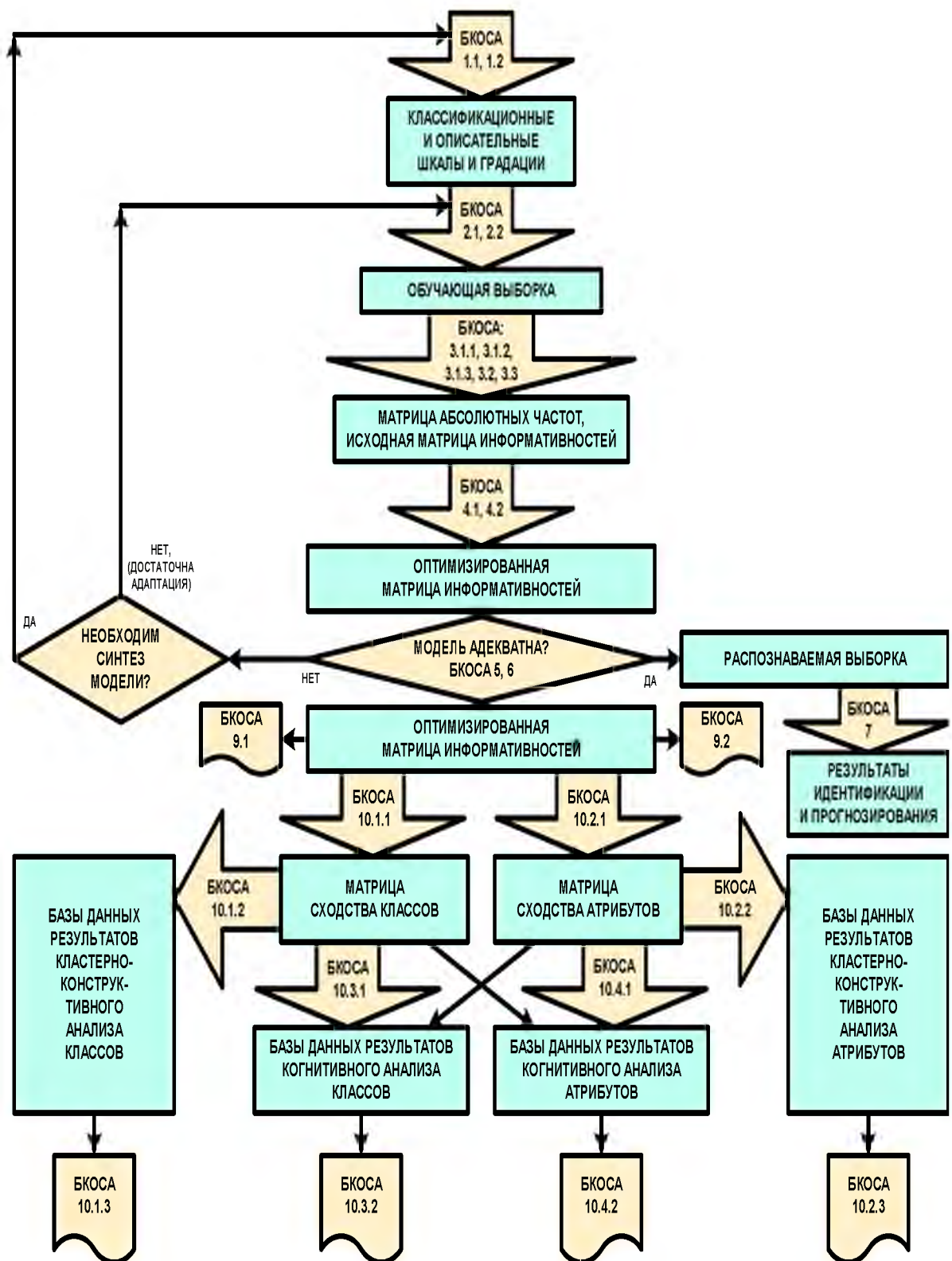


Рисунок 4 Иерархическая структура данных семантической информационной модели (СИМ) АСК-анализа

### 2.5.3.3 Обобщенное описание алгоритмов Аоперации СК-анализа

В данном разделе приведены **24** детальных алгоритма всех **10** базовых когнитивных операций системного анализа (таблица 5.19), коды



которых полностью соответствуют обобщенной схеме СК-анализа (рисунок 5.20).

Таблица 5.20 - Базовые когнитивные операции системного анализа (БКОСА)

| № п/п | Код БКОСА по схеме АСК-анализа | Полное наименование БКОСА                                                              |
|-------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.    | 1.                             | Присвоение имен классам и атрибутам (интенциональная и экстенциональная репрезентация) |
| 2.    | 2.                             | Восприятие                                                                             |
| 3.    | 3.                             | Обобщение (синтез, индукция)                                                           |
| 4.    | 4.                             | Абстрагирование классов и атрибутов                                                    |
| 5.    | 5.                             | Оценка адекватности модели                                                             |
| 6.    | 7.                             | Сравнение, идентификация и прогнозирование                                             |
| 7.    | 9.                             | Анализ (дедукция и абдукция) классов и атрибутов                                       |
| 8.    | 10.1, 10.2.                    | Классификация и генерация конструкторов классов и атрибутов                            |
| 9.    | 10.3, 10.4.                    | Содержательное сравнение классов и атрибутов                                           |
| 10.   | 11.                            | Планирование и принятие решений о применении системы управляющих факторов              |

В таблице 5.21 приведена структура каждой базовой когнитивной операции, дана их нумерация в соответствии с обобщенной схемой СК-анализа и нумерация реализующих их алгоритмов.

Таблица 5.21 - Детальный список БКОСА и их алгоритмов

| № алгоритма | Код БКОСА по схеме АСК-анализа | № БКОСА                                                                            | Наименование БКОСА                         | Полное наименование базовых когнитивных операций системного анализа (БКОСА)                                                    |
|-------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             | 1.1                            | 1                                                                                  | Присвоение имен                            | Присвоение имен классам (интенциональная, интегральная репрезентация)                                                          |
|             | 1.2                            |                                                                                    |                                            | Присвоение имен атрибутам (экстенциональная, дискретная репрезентация)                                                         |
| 1           | 2.1                            | 2                                                                                  | Восприятие                                 | Восприятие и запоминание исходной обучающей информации                                                                         |
| 2           | 2.2.                           |                                                                                    |                                            | Репрезентация. Сопоставление индивидуального опыта с коллективным (общественным)                                               |
| 3           | 3.1.1.                         | 3                                                                                  | Обобщение (синтез, индукция).              | Накопление первичных данных                                                                                                    |
| 4           | 3.1.2.                         |                                                                                    |                                            | Исключение артефактов                                                                                                          |
| 5           | 3.1.3.                         |                                                                                    |                                            | Расчет истинности смысловых связей между предпосылками и результатами (обобщенных таблиц решений)                              |
| 6           | 3.2.                           |                                                                                    |                                            | Определение значимости шкал и градаций факторов, уровней Мерлина                                                               |
| 7           | 3.3.                           |                                                                                    |                                            | Определение значимости шкал и градаций классов, уровней Мерлина                                                                |
| 8           | 4.1.                           |                                                                                    |                                            | 4                                                                                                                              |
| 9           | 4.2.                           | Абстрагирование классов (снижение размерности семантического пространства классов) |                                            |                                                                                                                                |
| 10          | 5.                             | 5                                                                                  | Оценка адекватности                        | Оценка адекватности информационной модели предметной области                                                                   |
| 11          | 7.                             | 6                                                                                  | Сравнение, идентификация и прогнозирование | Сравнение, идентификация и прогнозирование. Распознавание состояний конкретных объектов (объектный анализ)                     |
| 12          | 9.1                            | 7                                                                                  | Анализ, дедукция и абдукция                | Анализ, дедукция и абдукция классов (семантический анализ обобщенных образов классов, решение обратной задачи прогнозирования) |
| 13          | 9.2.                           |                                                                                    |                                            | Анализ, дедукция и абдукция факторов (семантический анализ факторов)                                                           |
| 14          | 10.1.1.                        | 8                                                                                  | Классификация и генерация конструкторов    | Классификация обобщенных образов классов                                                                                       |
| 15          | 10.1.2.                        |                                                                                    |                                            | Формирование бинарных конструкторов классов                                                                                    |
| 16          | 10.1.3.                        |                                                                                    |                                            | Визуализация семантических сетей классов                                                                                       |
| 17          | 10.2.1.                        |                                                                                    |                                            | Классификация факторов                                                                                                         |
| 18          | 10.2.2.                        |                                                                                    |                                            | Формирование бинарных конструкторов факторов                                                                                   |
| 19          | 10.2.3.                        |                                                                                    |                                            | Визуализация семантических сетей факторов                                                                                      |
| 20          | 10.3.1.                        | 9                                                                                  | Содержательное сравнение                   | Содержательное сравнение классов                                                                                               |
| 21          | 10.3.2.                        |                                                                                    |                                            | Расчет и отображение многозначных когнитивных диаграмм, в т.ч. диаграмм Мерлина                                                |
| 22          | 10.4.1.                        |                                                                                    |                                            | Содержательное сравнение факторов                                                                                              |
| 23          | 10.4.2.                        |                                                                                    |                                            | Расчет и отображение многозначных когнитивных диаграмм, в т.ч. инвертированных диаграмм Мерлина                                |
| 24          | 11.                            | 10                                                                                 | Планирование и управление                  | Многовариантное планирование и принятие решения о применении системы управляющих факторов                                      |

Описания базовых когнитивных операций системного анализа и их реальные детализированные алгоритмы приведены ниже (рисунки 5.22 – 5.46).

**БКОСА-2.1. "Восприятие и запоминание исходной обучающей информации"**

В базы данных вводятся двухвекторные (дискретно-интегральные) описания объектов, включающие как их описание на языке признаков, так и принадлежность к определенным классификационным категориям – классам.

### ***БКОСА-2.2. "Репрезентация. Сопоставление индивидуального опыта с коллективным (общественным)"***

В ряде случаев, особенно при проведении политологических исследований, необходимо, чтобы исследуемая выборка корректно представляла генеральную совокупность не только в смысле традиционно понимаемой репрезентативности, но и по распределению респондентов по категориям (т.е. структурно) соответствовала ей. Добиться этого путем подбора объектов для исследования затруднительно, т.к. каждый объект может относиться одновременно ко многим классификационным категориям. Данный алгоритм обеспечивает выборку из исследуемого множества объектов последовательных подмножеств, наиболее близких по частотному распределению объектов по категориям к заданному распределению. Данная операция называется также "взвешивание или ремонт данных".

### ***БКОСА-3.1.1. "Обобщение (синтез, индукция). Накопление первичных данных"***

На основе анализа обучающей выборки обеспечивается накопление в базах данных первичных элементов смысла, т.е. фактов, состоящих в том, что определенный признак встретился у объекта определенного класса.

### ***БКОСА-3.1.2. "Обобщение (синтез, индукция). Исключение артефактов"***

При отсутствии статистики невозможно отличить закономерные факты от не вписывающихся в общую складывающуюся картину и искажающих ее, т.е. артефактов. При накоплении же достаточной статистики это возможно и данный алгоритм позволяет выявить и исключить из дальнейшего анализа артефакты. Необходимо отметить, что в результате действия данного алгоритма существенно повышается качество содержательной модели предметной области, в частности ее валидность.

### ***БКОСА-3.1.3. "Обобщение (синтез, индукция). Расчет степени истинности содержательных смысловых связей между предпосылками и результатами (обобщенных таблиц решений)"***

Непосредственно на основе матрицы абсолютных частот позволяет вычислить количество информации, содержащейся в факте наблюдения у некоторого объекта определенного признака о том, что данный объект принадлежит к определенной классификационной категории.

### ***БКОСА-3.2. "Определение значимости шкал и градаций факторов, уровней Мерлина"***

Рассчитывается среднее количество информации, которое система управления получает о поведении АОУ из фактов о действии тех или иных факторов и их значений. Кроме того, если факторы классифицированы независимым способом по уровням Мерлина, то определяется и значимость этих уровней.

### ***БКОСА-3.3. "Определение значимости шкал и градаций классов, уровней Мерлина "***

Рассчитывается среднее количество информации, которое система управления получает из одного признака, если известен класс. Если классы относятся к уровням Мерлина, то определяется и их значимость.

### ***БКОСА-4.1. "Абстрагирование факторов (снижение размерности семантического пространства факторов) "***

С помощью метода последовательных приближений (итерационный алгоритм) при заданных граничных условиях снижается размерность пространства атрибутов без существенного уменьшения его объема и адекватности модели. Критерий остановки итерационного процесса – достижение одного из граничных условий.

### ***БКОСА-4.2. "Абстрагирование классов (снижение размерности семантического пространства классов) "***

С помощью метода последовательных приближений (итерационный алгоритм) при заданных граничных условиях снижается размерность пространства классов без существенного уменьшения его объема и адекватности модели. Критерий остановки итерационного процесса – достижение одного из граничных условий.

### ***БКОСА-5. "Оценка адекватности информационной модели предметной области "***

Осуществляется идентификация объектов обучающей выборки (классификационный вектор которых уже известен) и затем рассчитывается средневзвешенная погрешность идентификации (интегральная валидность), а также погрешность идентификации с каждым классом (дифференциальная валидность). Если модель имеет приемлемый уровень адекватности, то принимается решение о возможности ее использования в адаптивном режиме на объектах, не входящих в обучающую выборку, но относящихся к генеральной совокупности, по отношению к которой эта выборка репрезентативна. Если же модель недостаточно адекватна, то продолжают работы по синтезу адекватной модели путем увеличения количества классов и факторов, а также корректировки описаний объектов обучающей выборки и увеличения их количества.

### ***БКОСА-7. "Сравнение, идентификация и прогнозирование. Распознавание состояний конкретных объектов (объектный анализ) "***

Рассчитывается количество информации, содержащееся в описании идентифицируемого объекта о его принадлежности к каждому из классов. Все классы ранжируются в порядке убывания количества информации о принадлежности к ним в описании данного объекта. Таким образом, вектор объекта разлагается в ряд по векторам классов. Кроме того, все объекты ранжируются в порядке убывания сходства с каждым классом. Таким образом, вектор класса разлагается в ряд по векторам объектов.

### ***БКОСА-9.1. "Дедуция и абдукция классов (семантический анализ обобщенных образов классов, решение обратной задачи прогнозирования) "***

Координаты вектора класса (т.е. факторы) ранжируются в порядке убывания их значений. Таким образом, в начале списка оказываются факторы, оказывающие наиболее сильное влияние на переход АОУ в состояние, соответствующее данному классу, а в конце списка – препятствующие этому. Это позволяет выбрать факторы для управляющего воздействия, целью которого является перевод АОУ в состояние, соответствующее данному классу. Механизм фильтрации позволяет "изолированно" рассматривать влияние различных групп факторов: например, факторов, характеризующих объект управления, управляющую систему или окружающую среду. Абдукция представляет собой обобщение дедукции на основе нечеткой логики. В данном случае это означает, что фактор связан с классом не детерминистским образом, а через количество информации, которое в нем содержится о данном классе.

### ***БКосА-9.2. "Дедукция и абдукция факторов (семантический анализ факторов)"***

Классы ранжируются в порядке убывания влияния данного фактора на переход АОУ в состояния, соответствующие этим классам. В начале списка оказываются состояния, на переход в которые данный фактор оказывает наибольшее влияние, а в конце – на переход в которые данный фактор препятствует. Этот список является развернутой характеристикой смысла фактора.

#### ***БКосА-10.1.1. "Классификация обобщенных образов классов"***

Сравниваются вектора классов и формируется диагональная матрица сходства классов, в которой по обоим осям расположены коды классов а в клетках находятся нормированные коэффициенты, численно отражающие степень сходства или различия векторов соответствующих классов.

#### ***БКосА-10.1.2. "Формирование бинарных конструкторов классов"***

На основе матрицы сходства классов для каждого из них формируется ранжированный список остальных, в котором они расположены в порядке убывания сходства с данным классом. Такие списки представляют собой бинарные конструкторы, а их полюса соответствуют кластерам.

#### ***БКосА-10.1.3. "Визуализация семантических сетей классов"***

На основе матрицы сходства классов визуализируются ориентированные графы, вершинам которых соответствуют классы, а ребрам – степени их сходства или различия. Знак связи обозначается цветом: красный цвет – сходство, синий – различие, толщина линии соответствует модулю (силе) связи. Необходимо отметить, что для подобных графов в литературе пока нет устоявшегося общепринятого названия: в данном исследовании, как и в предшествующих работах автора, они называются семантическими сетями, в литературе по когнитивному анализу их называют когнитивными картами, а в литературе по когнитивному анализу – когнитивными картами или схемами [160 – 164].

#### ***БКосА-10.2.1. "Классификация факторов"***

Сравниваются вектора факторов и формируется диагональная матрица сходства факторов, в которой по обоим осям расположены коды факторов, а

в клетках находятся нормированные коэффициенты, численно отражающие степень сходства или различия векторов соответствующих факторов.

#### ***БКОСА-10.2.2. "Формирование бинарных конструкторов факторов "***

На основе матрицы сходства факторов для каждого из них формируется ранжированный список остальных, в котором они расположены в порядке убывания сходства с данным фактором. Такие списки представляют собой бинарные конструкторы, а их полюса соответствуют кластерам.

#### ***БКОСА-10.2.3. "Визуализация семантических сетей факторов "***

На основе матрицы сходства факторов визуализируются ориентированные графы, вершинам которых соответствуют заданные факторы, а ребрам – степени их сходства или различия. Знак связи обозначается цветом: красный цвет – сходство, синий – различие, толщина линии соответствует модулю (силе) связи.

#### ***БКОСА-10.3.1. "Содержательное сравнение классов "***

Каждая связь между классами в семантической сети, отражающая степень их сходства или различия, имеет определенную структуру, описанную в разделе 3.2.3 исследования. Эта структура включает ряд элементов, каждый из которых соответствует одному слагаемому обобщенной меры сходства векторов классов.

#### ***БКОСА-10.3.2. "Расчет и отображение многозначных когнитивных диаграмм, в т.ч. диаграмм Вольфа Мерлина "***

Из всех составляющих связи между классами выбираются 8 наиболее сильных и отображаются в форме линий, цвет которых означает знак, а толщина – модуль силы связи. Классы изображаются в форме наиболее значимых фрагментов их информационных портретов. При этом учитываются корреляции между факторами.

#### ***БКОСА-10.4.1. "Содержательное сравнение факторов "***

Каждая связь между факторами в семантической сети, отражающая степень их сходства или различия, имеет определенную структуру, описанную в разделе 3.2.3 исследования. Эта структура включает ряд элементов, каждый из которых соответствует одному слагаемому обобщенной меры сходства векторов факторов.

#### ***БКОСА-10.4.2. "Расчет и отображение многозначных когнитивных диаграмм, в т.ч. инвертированных диаграмм Мерлина "***

Из всех составляющих связи между факторами выбираются 16 наиболее сильных и отображаются в форме линий, цвет которых означает знак, а толщина – модуль силы связи. Факторы отображаются в форме наиболее значимых фрагментов их семантических портретов. При этом учитываются корреляции между классами.

#### ***БКОСА-11. "Многовариантное планирование и принятие решения о применении системы управляющих факторов "***

Выполняется в несколько этапов:

1) выполняется прогноз развития АОУ в условиях отсутствия управляющих воздействий, т.е. реализуется БКОСА-7 ("движение по инерции");

2) если в соответствии с прогнозом по п.1 АОУ достигается заданного целевого состояния (т.е. прогноз "удовлетворительный"), то планирование прекращается (переход на п.6); иначе – выполняется п.3;

3) путем решения обратной задачи прогнозирования (БКОСА-9.1) определяется набор факторов, оптимальный для перевода АОУ в заданное целевое состояние;

4) если все эти факторы есть возможность использовать для управления, то на этом планирование прекращается (переход п.6); иначе переход на п.5;

5) используя результаты кластерно-конструктивного анализа факторов (БКОСА 10.2.1, 10.2.2, 10.2.3) последовательно ищется замена для факторов, которые нет возможности использовать и после каждой замены выполняется прогнозирование (БКОСА-7); если результаты прогнозирования удовлетворительные – окончание планирования (переход на п.6); иначе принятие решения о невозможности выработки корректного управляющего воздействия;

6) окончание планирования.

Информационный портрет представляет собой детализацию вершин семантической сети. Когнитивные диаграммы детально раскрывают структуру связи между двумя вершинами семантической сети, представленными в форме информационных портретов. Поэтому для расшифровки структуры вершин семантической сети и связей между ними, предлагается ввести новое понятие "Семантическая когнитивная сеть", которая представляет собой систему когнитивных диаграмм, объединенных в макроструктуру, соответствующую структуре семантической сети.

#### *2.5.3.4 Детальные алгоритмы СК-анализа*

**АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 2.1:  
"ВОСПРИЯТИЕ И ЗАПОМИНАНИЕ ОБУЧАЮЩЕЙ ИНФОРМАЦИИ"**

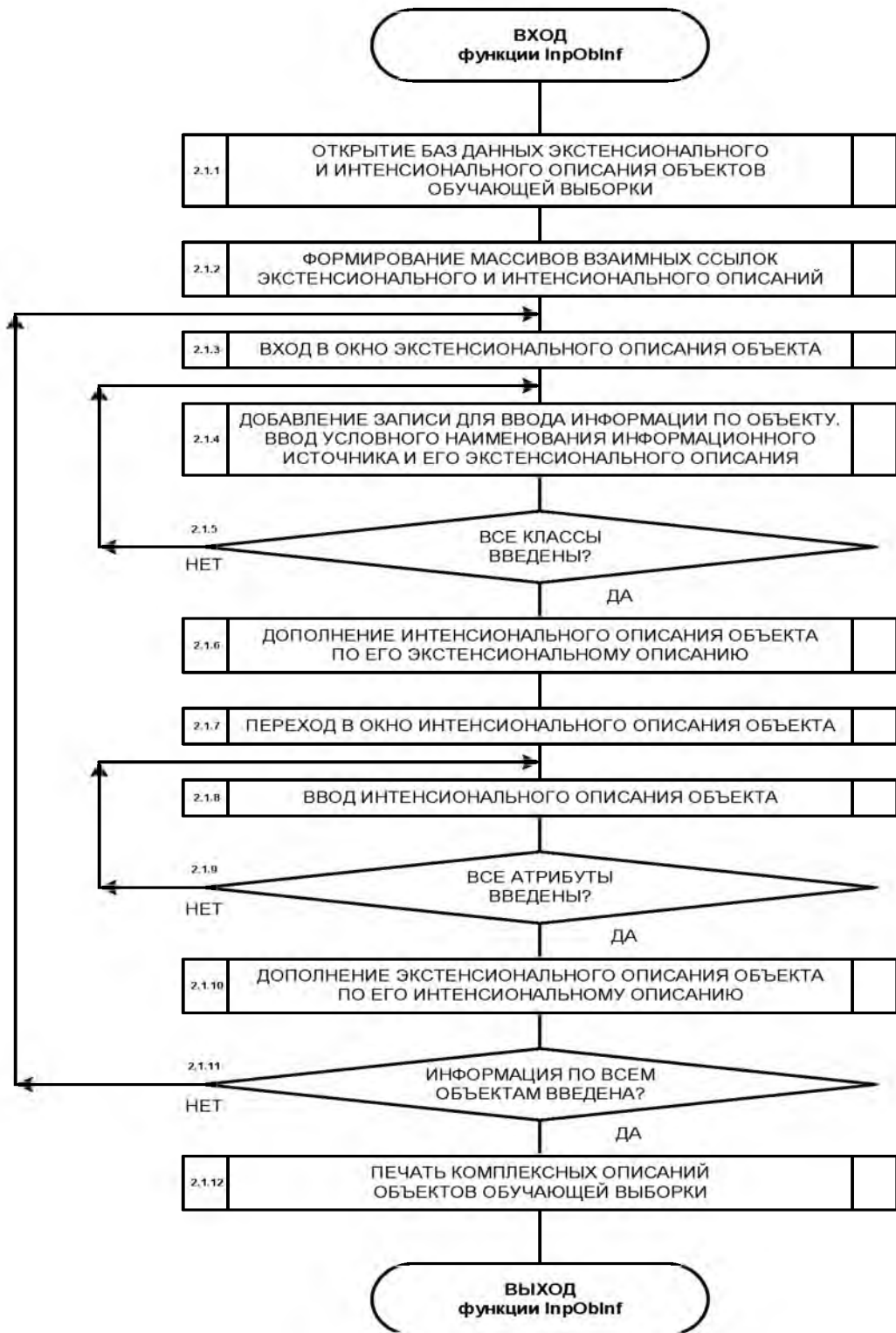


Рисунок 5.22 - Алгоритм БКОСА-2.1. "Восприятие и запоминание исходной обучающей информации"

**АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 2.2:  
"РЕПРЕЗЕНТАЦИЯ, СОПОСТАВЛЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОПЫТА С КОЛЛЕКТИВНЫМ"**

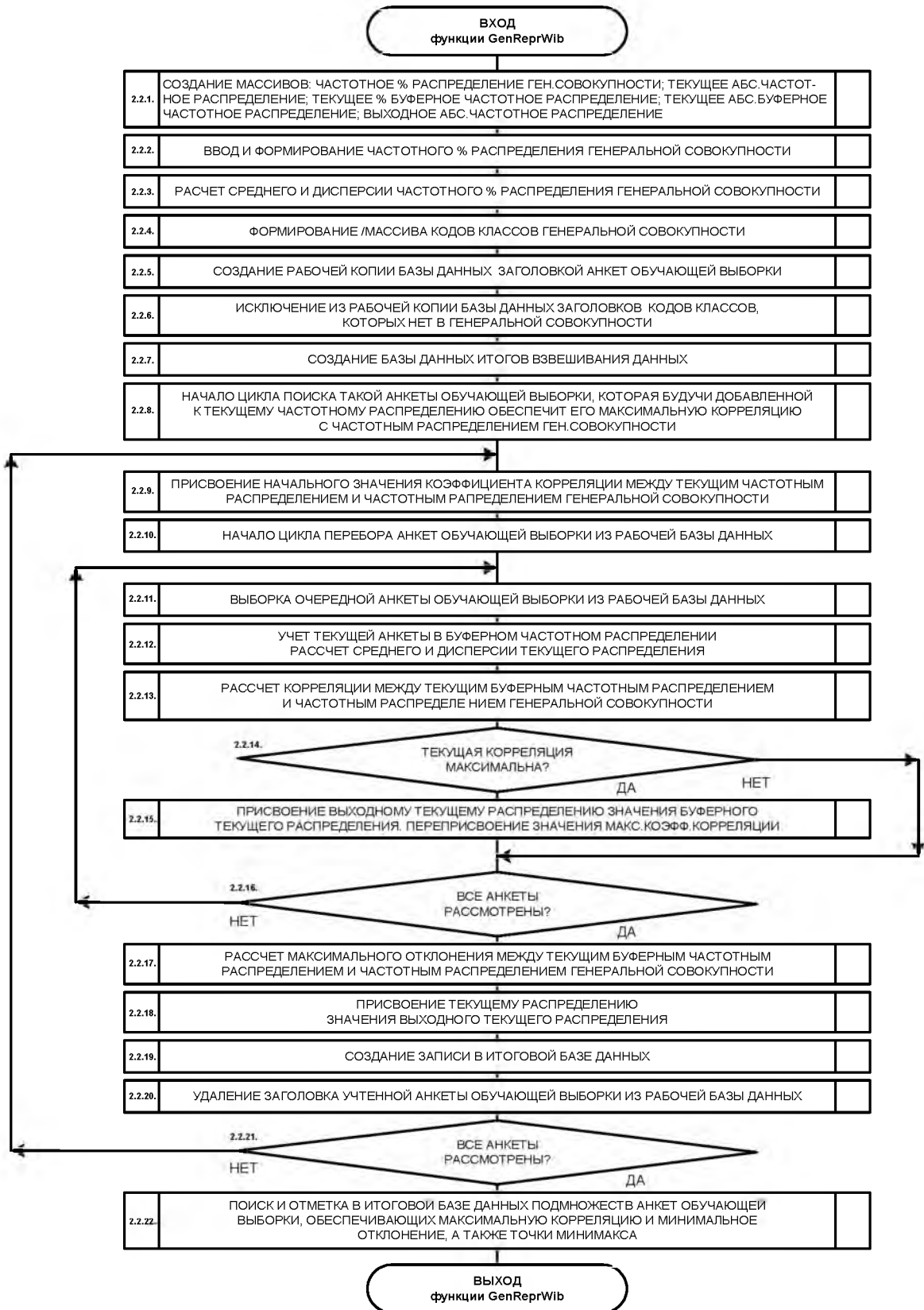


Рисунок 5.23 - Алгоритм БКОСА-2.2. "Репрезентация. Сопоставление индивидуального опыта с коллективным"



АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 3.1.1:  
 "ОБОБЩЕНИЕ (СИНТЕЗ, ИНДУКЦИЯ) -  
 - РАСЧЕТ МАТРИЦЫ АБСОЛЮТНЫХ ЧАСТОТ"

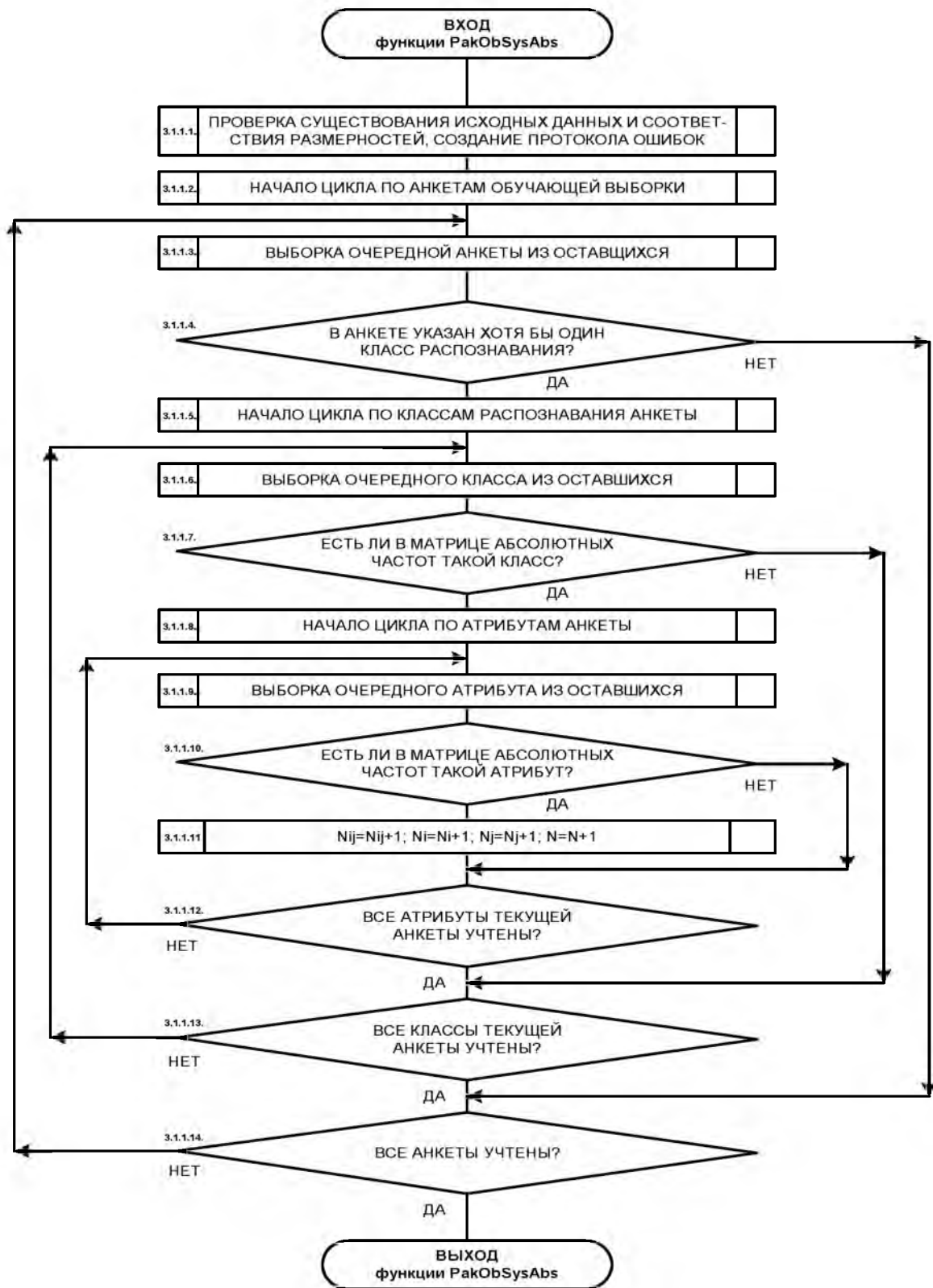


Рисунок 5.24 - Алгоритм БКОСА-3.1.1. "Обобщение (синтез, индукция).  
 Накопление первичных данных"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 3.1.2:  
"ИСКЛЮЧЕНИЕ АРТЕФАКТОВ"

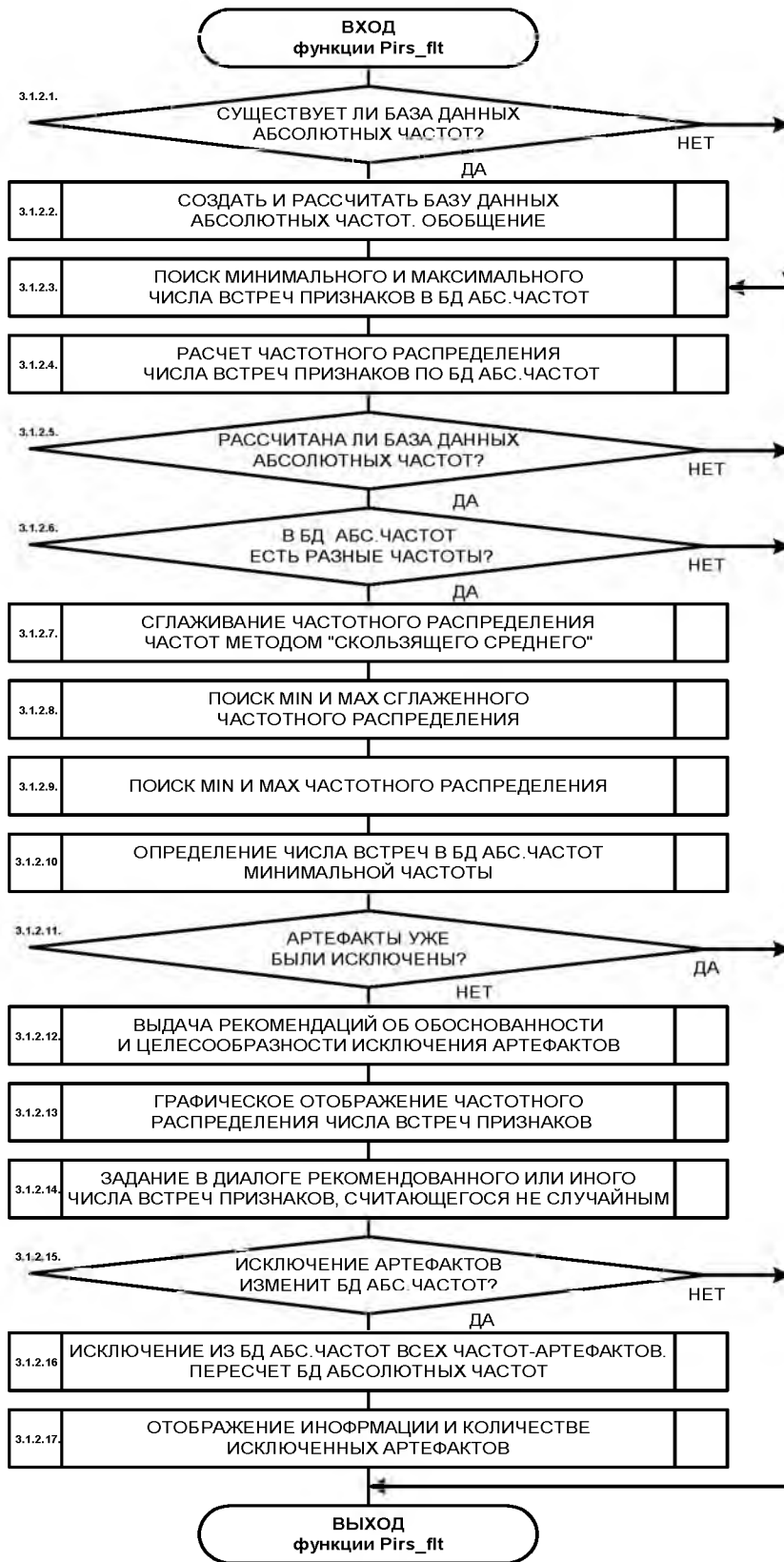


Рисунок 5.25 - Алгоритм БКОСА-3.1.2. "Обобщение (синтез, индукция).  
Исключение артефактов"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 3.1.3:  
 "ОБОБЩЕНИЕ (СИНТЕЗ, ИНДУКЦИЯ) -  
 - РАСЧЕТ МАТРИЦЫ ИНФОРМАТИВНОСТЕЙ"

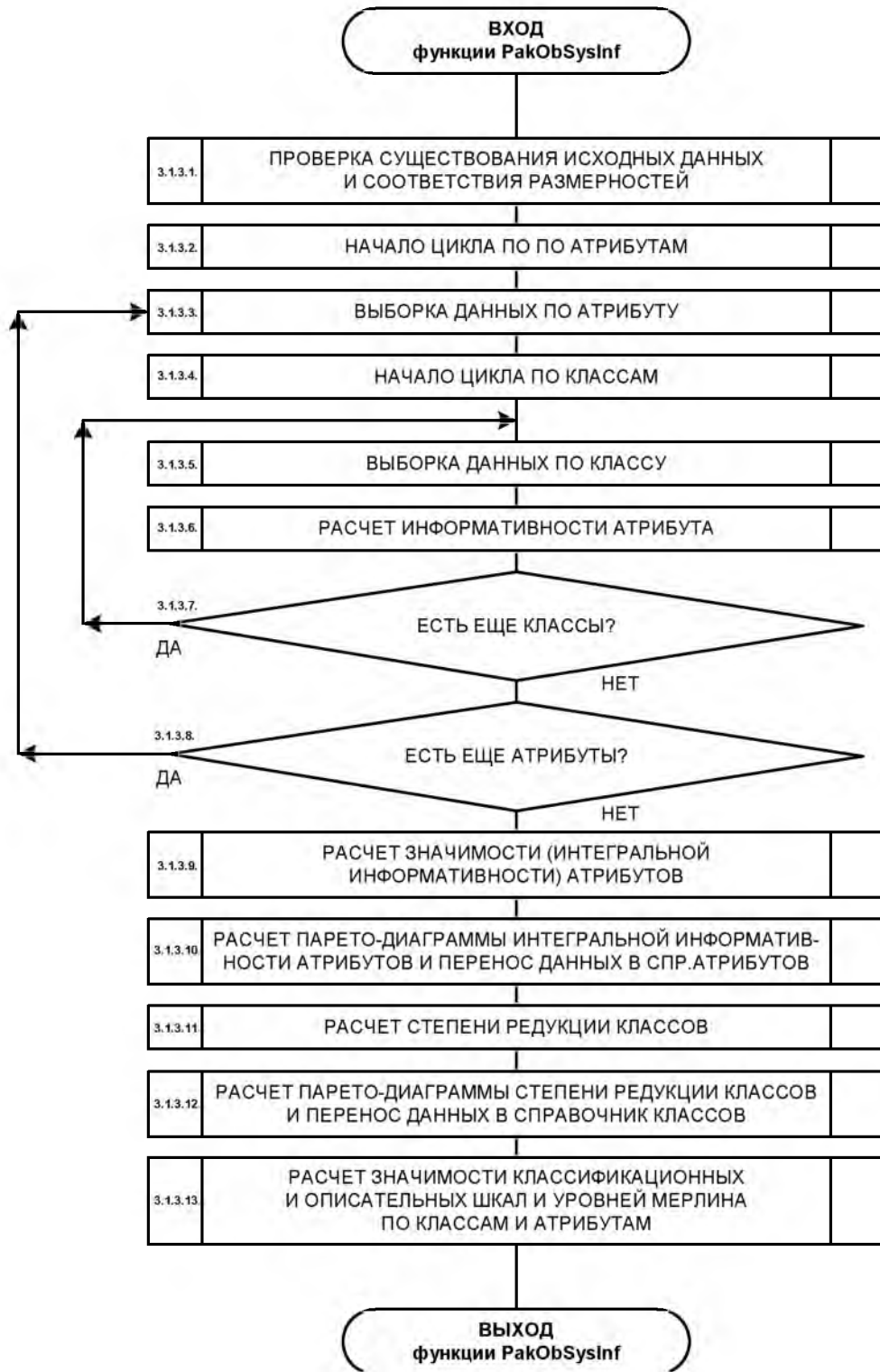


Рисунок 5.26 - Алгоритм БКОСА-3.1.3. "Обобщение (синтез, индукция). Расчет степени истинности содержательных смысловых связей между предпосылками и результатами (обобщенных таблиц решений)"

**АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 3.2:  
"ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ШКАЛ И ГРАДАЦИЙ ФАКТОРОВ,  
А ТАКЖЕ УРОВНЕЙ МЕРЛИНА"**

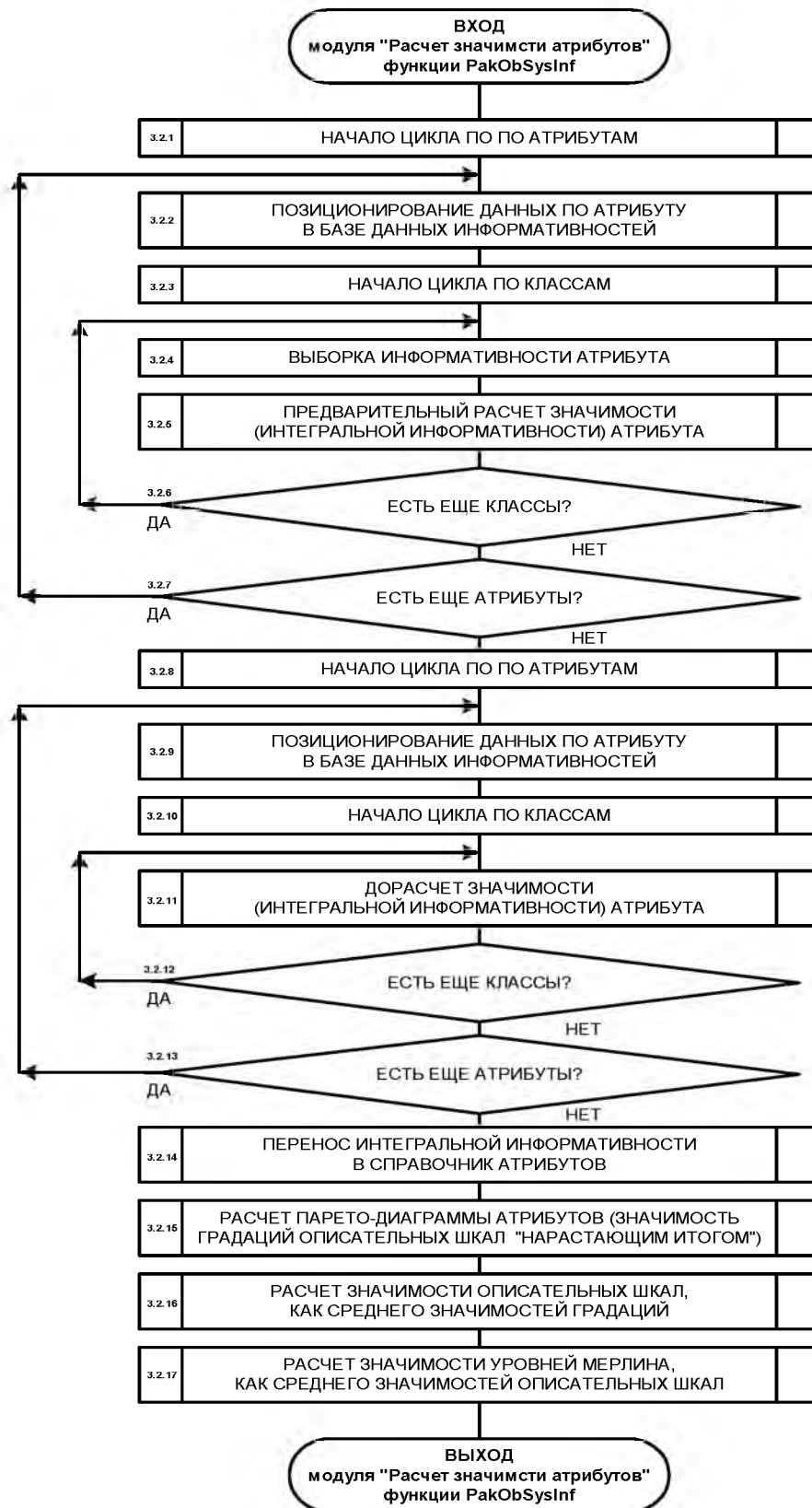


Рисунок 5.27 - Алгоритм БКОСА-3.2. "Определение значимости шкал и градаций факторов, уровней Мерлина"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 3.3:  
"РЕДУКЦИЯ КЛАССОВ"

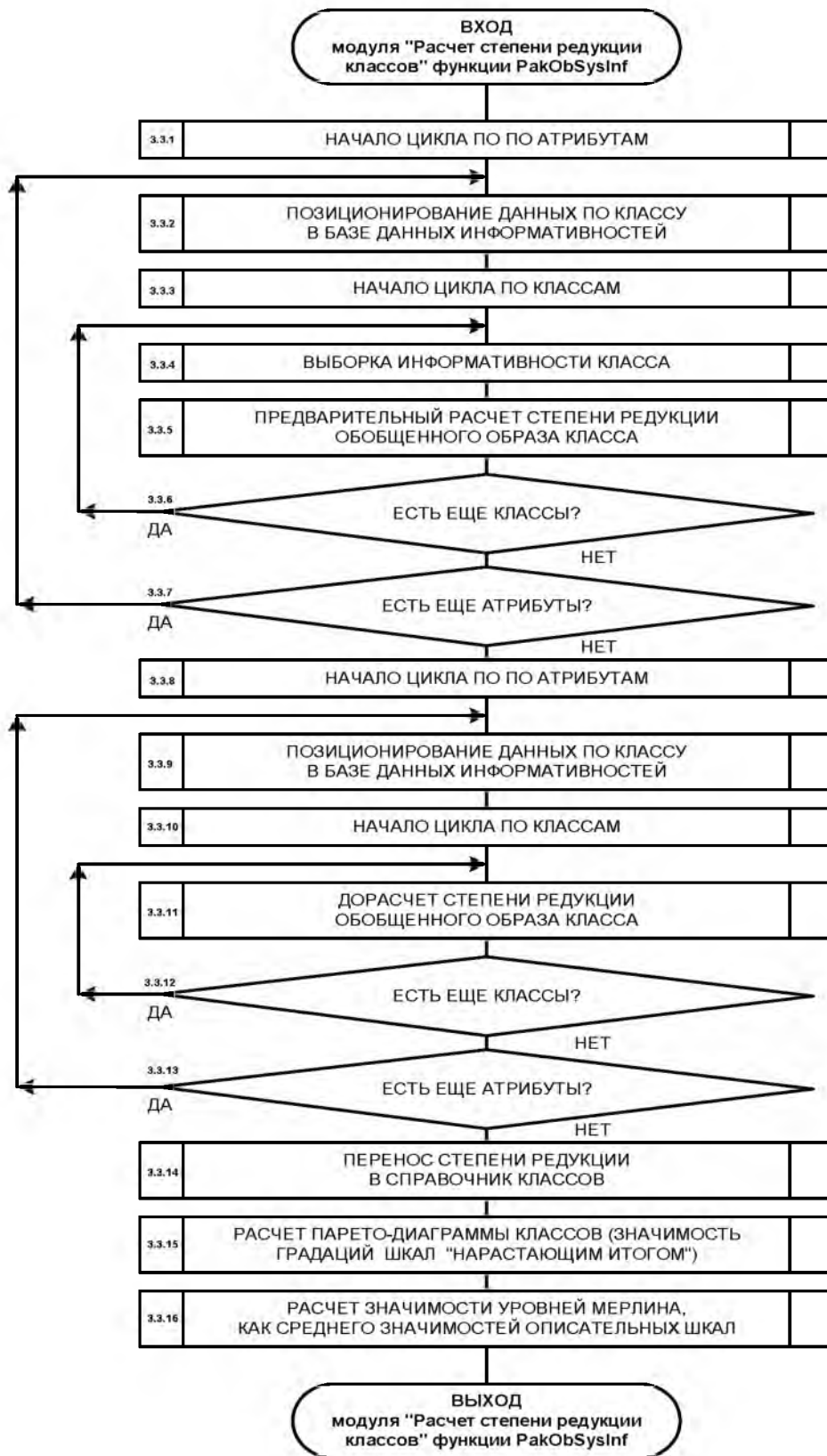


Рисунок 5.28 - Алгоритм БКОСА-3.3. "Определение значимости шкал и градаций классов, уровней Мерлина"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 4.1: "АБСТРАГИРОВАНИЕ АТРИБУТОВ"

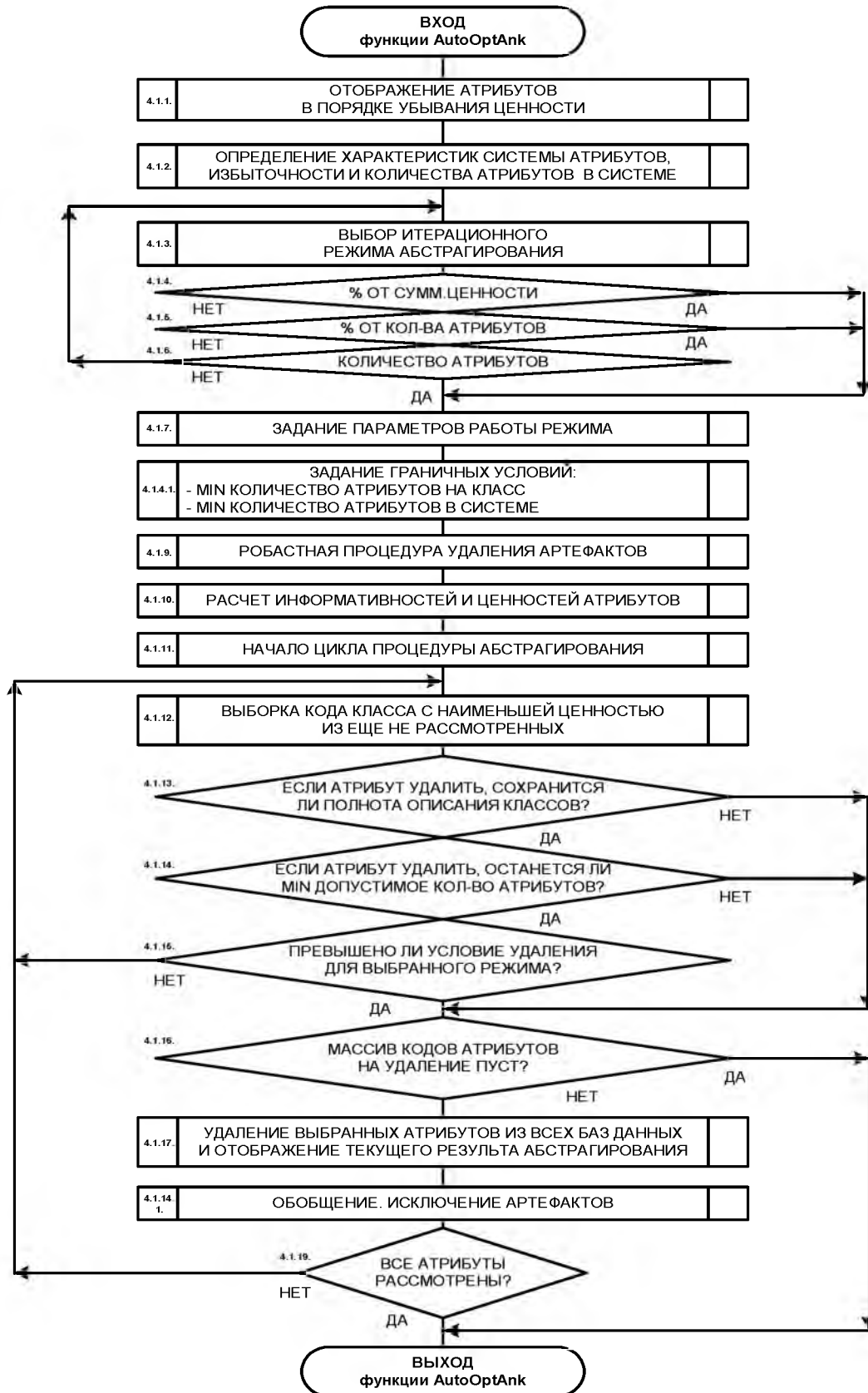


Рисунок .529 - Алгоритм БКОСА-4.1. "Абстрагирование факторов (снижение размерности семантического пространства факторов)"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 4.2: "АБСТРАГИРОВАНИЕ КЛАССОВ"

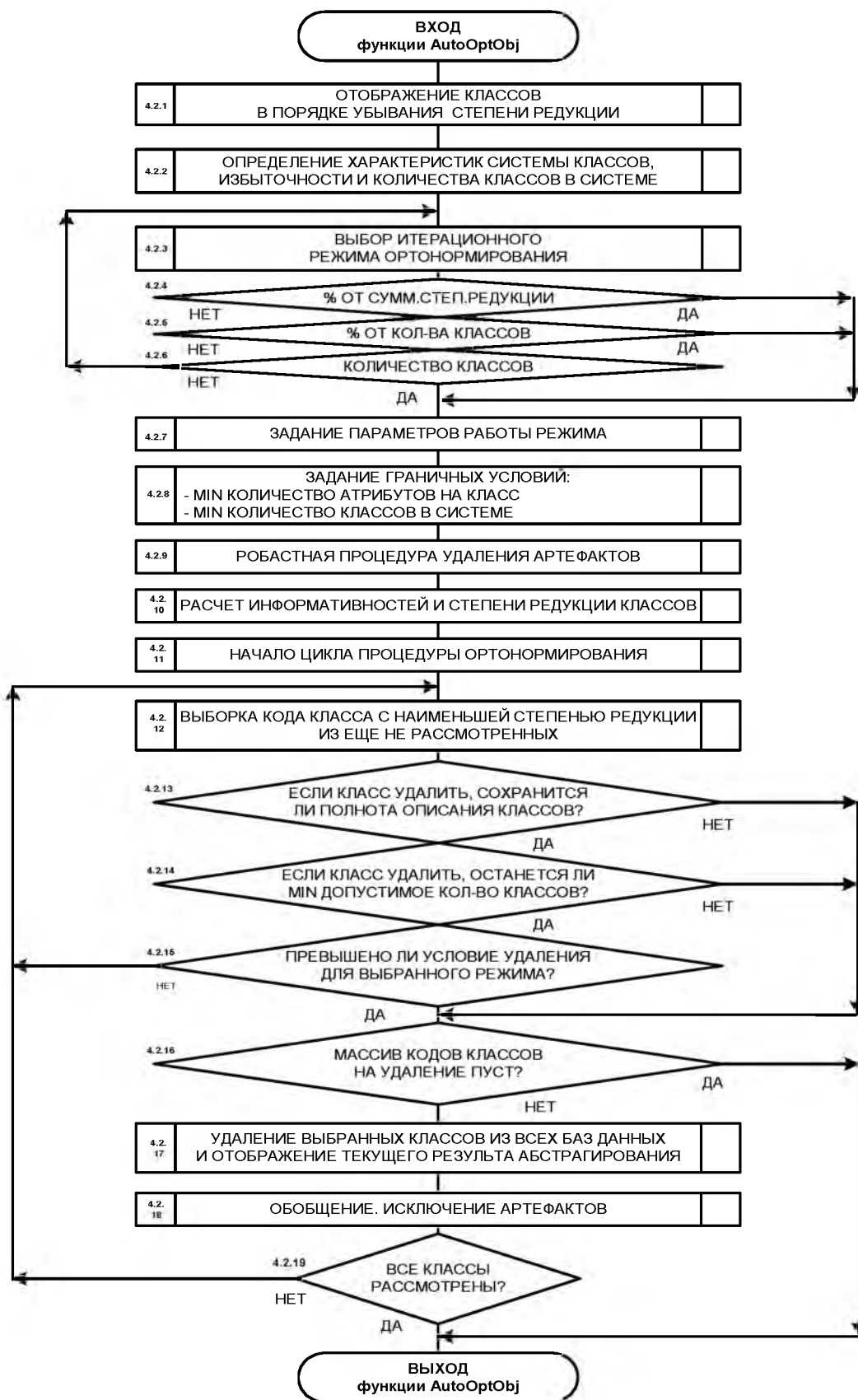


Рисунок 5.30 - Алгоритм БКОСА-4.2. "Абстрагирование классов (снижение размерности семантического пространства классов)"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 5:  
"ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ (ВАЛИДНОСТЬ)"

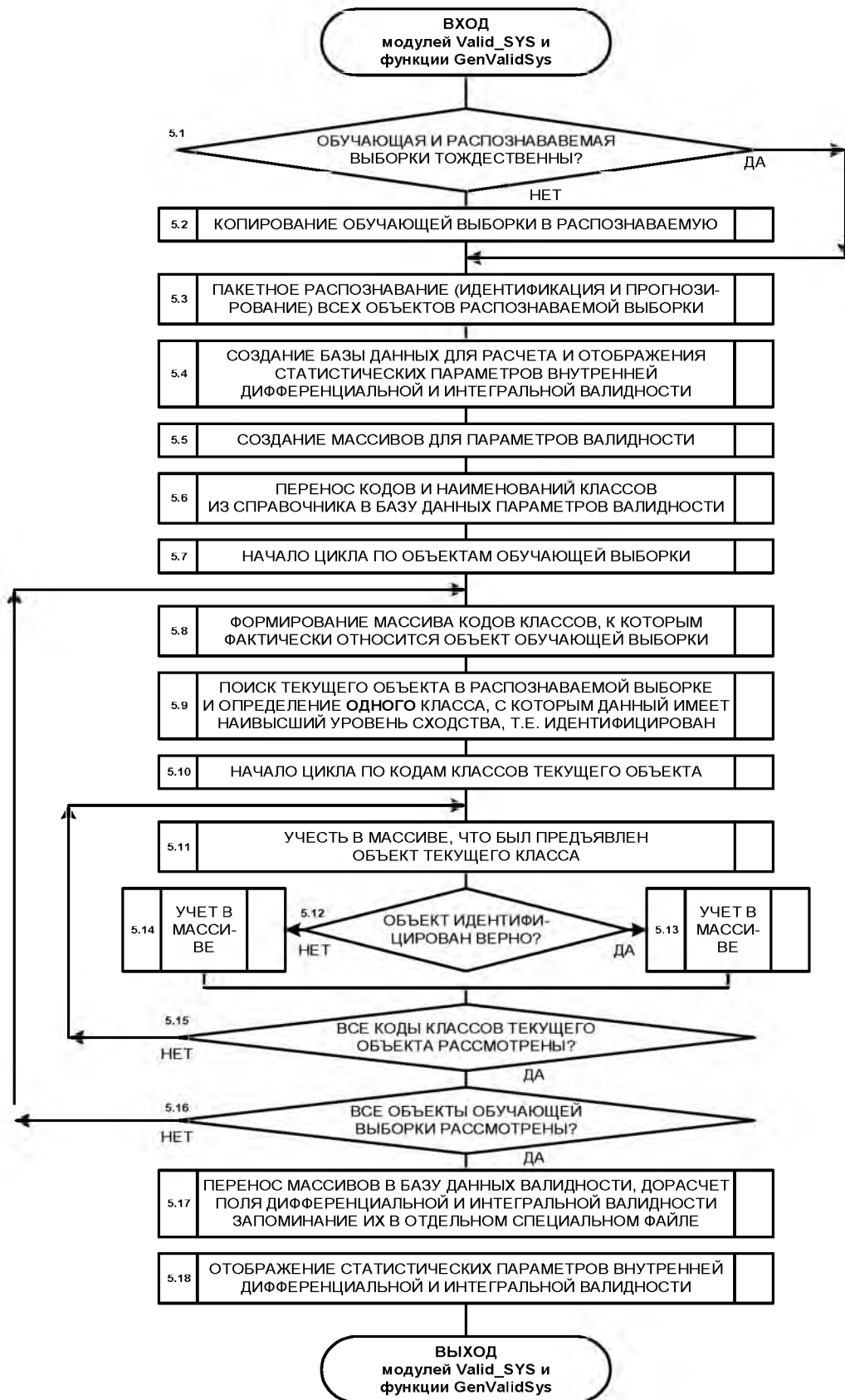


Рисунок 5.32 - Алгоритм БКОСА-5. "Оценка адекватности семантической информационной модели предметной области"



АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 7:  
"ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ"

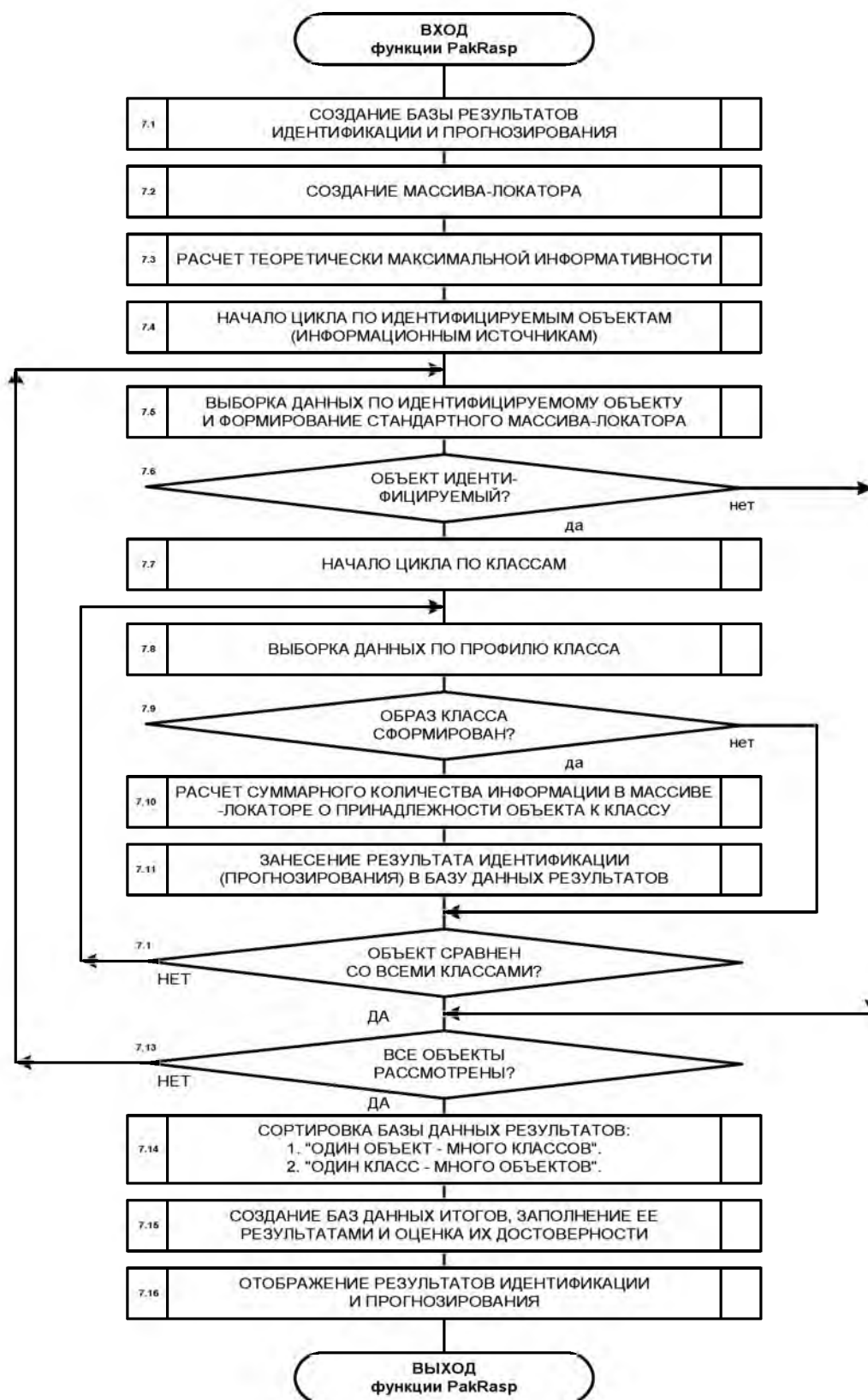


Рисунок 5.32 - Алгоритм БКОСА-7. "Идентификация и прогнозирование. Распознавание состояний конкретных объектов (объектный анализ)"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 9.1:  
"ДЕДУКЦИЯ КЛАССОВ"

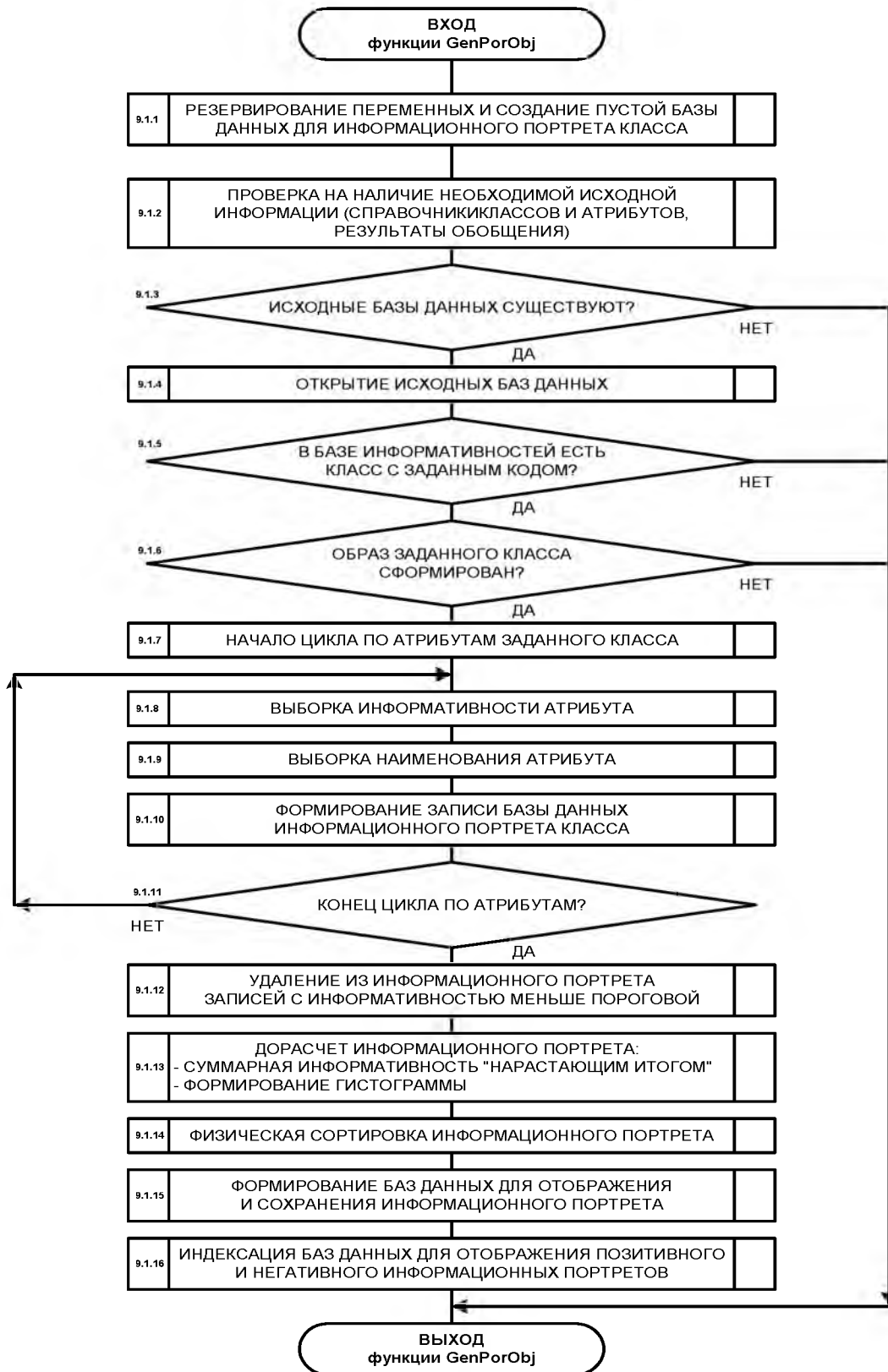


Рисунок 5.33 - Алгоритм БКОСА-9.1. "Дедукция и абдукция классов (семантический анализ обобщенных образов классов, решение обратной задачи прогнозирования)"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 9.2:  
"ДЕДУКЦИЯ АТРИБУТОВ"

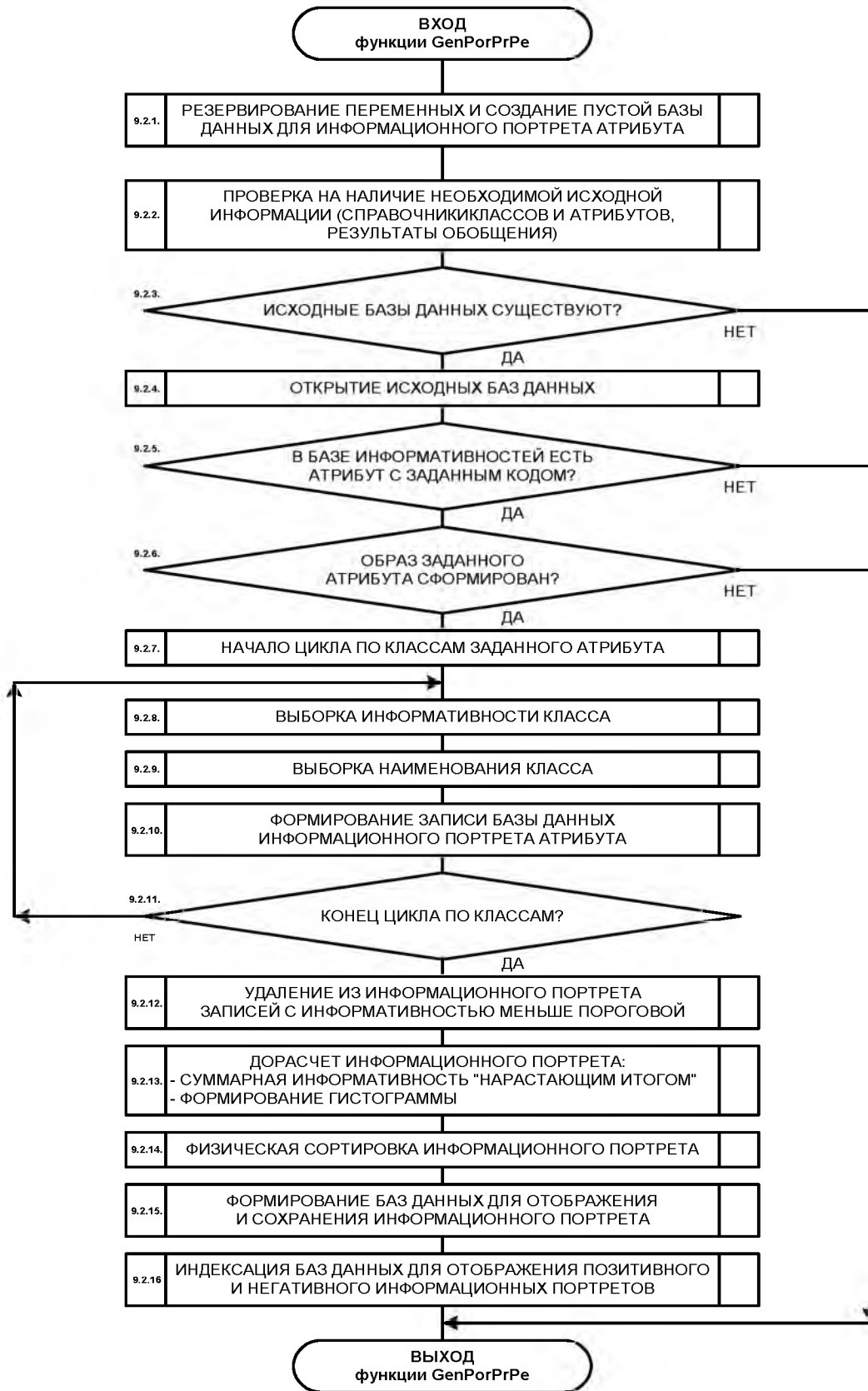


Рисунок 3.34 - Алгоритм БКОСА-9.2. "Дедукция и абдукция факторов (семантический анализ факторов)"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 10.1.1:  
"РАСЧЕТ МАТРИЦЫ СХОДСТВА КЛАССОВ"

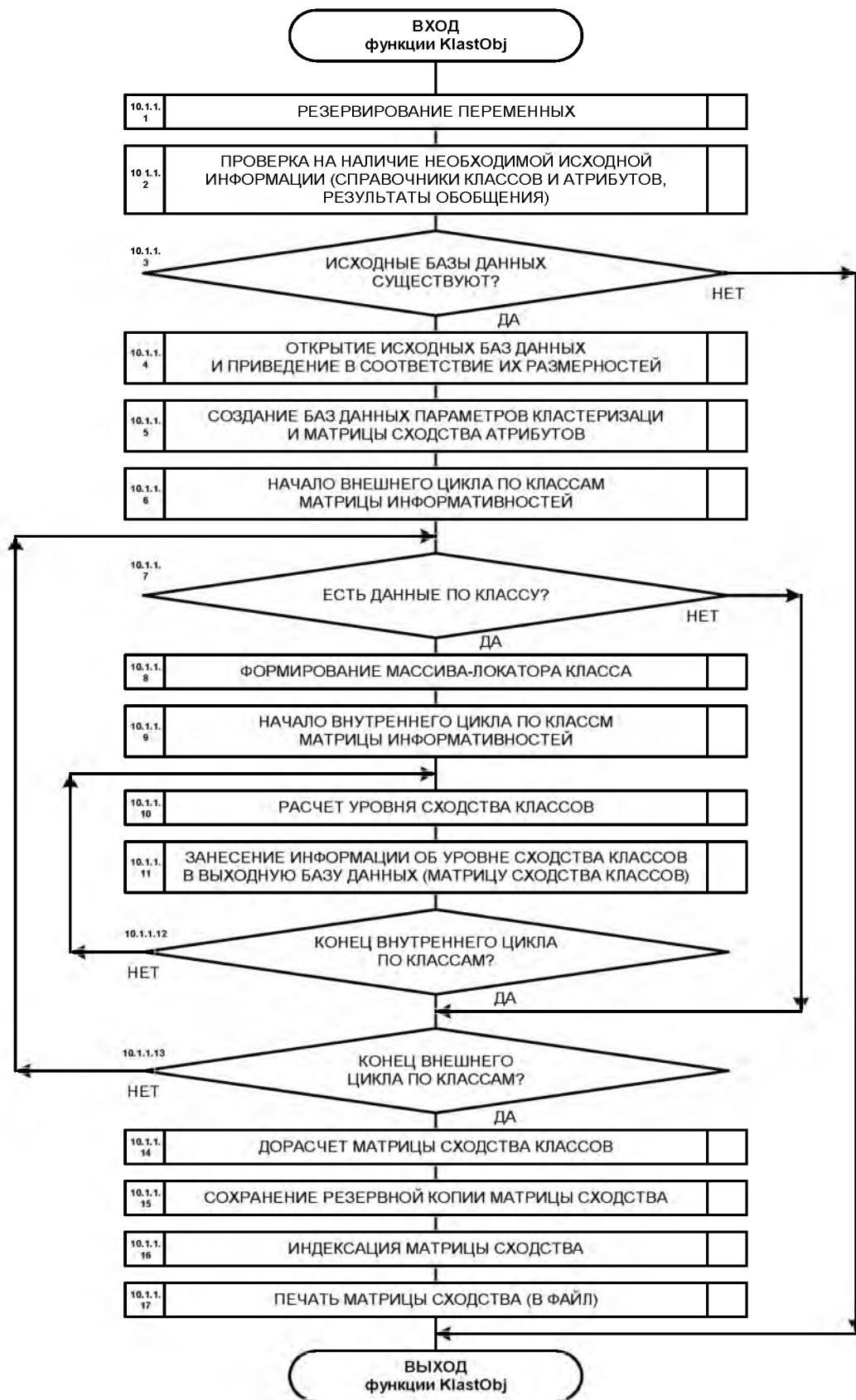


Рисунок 2.35 - Алгоритм БКОСА-10.1.1. "Классификация обобщенных образов классов"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 10.1.2: "РАСЧЕТ КЛАСТЕРОВ И КОНСТРУКТОВ КЛАССОВ"

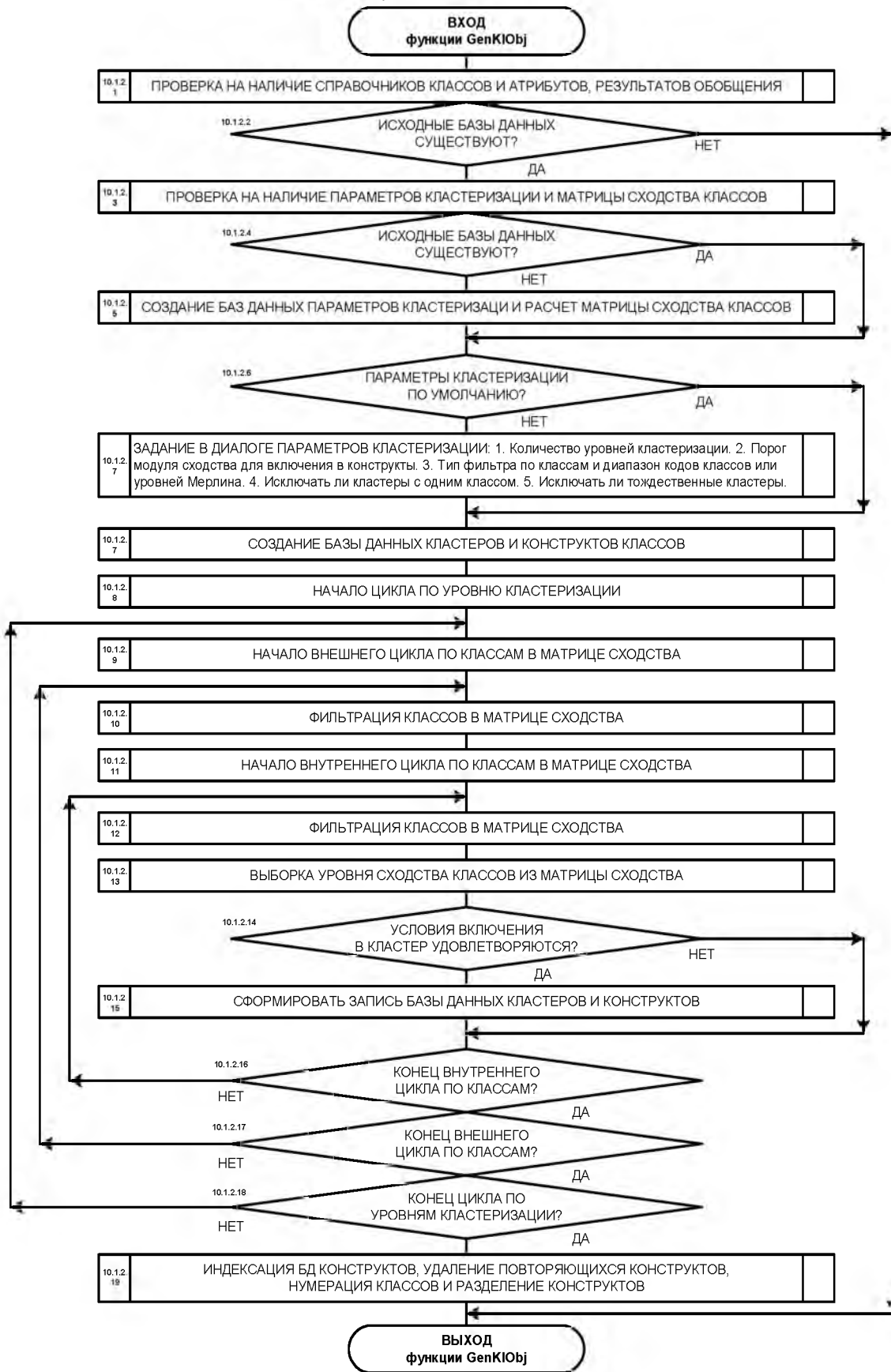


Рисунок 5 Алгоритм БКОСА-10.1.2. "Формирование бинарных конструктов классов"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 10.1.3:  
"ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ КЛАССОВ"

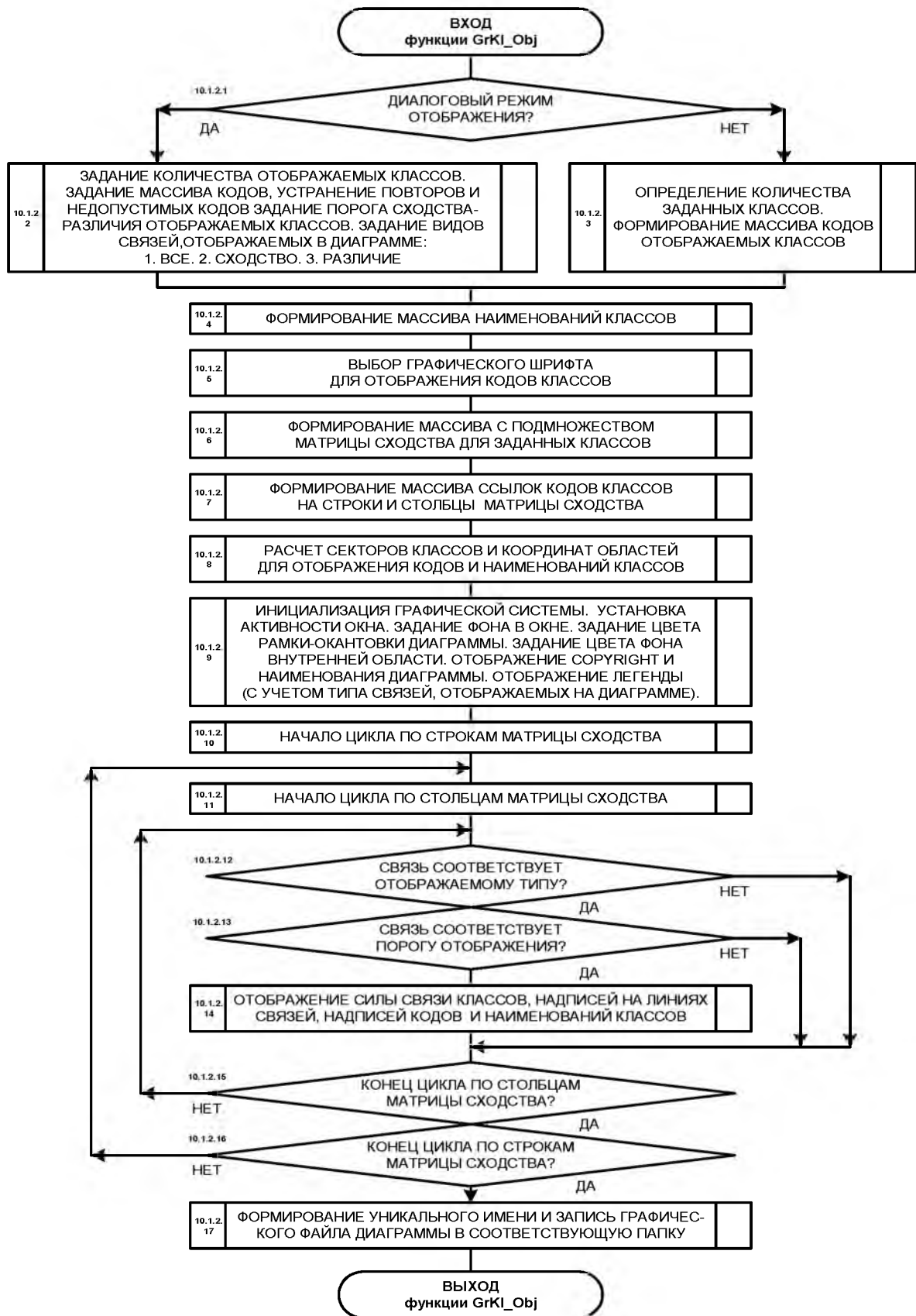


Рисунок 6 Алгоритм БКОСА-10.1.3. "Визуализация семантических сетей классов" (когнитивная графика)

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 10.2.1:  
"РАСЧЕТ МАТРИЦЫ СХОДСТВА АТРИБУТОВ"

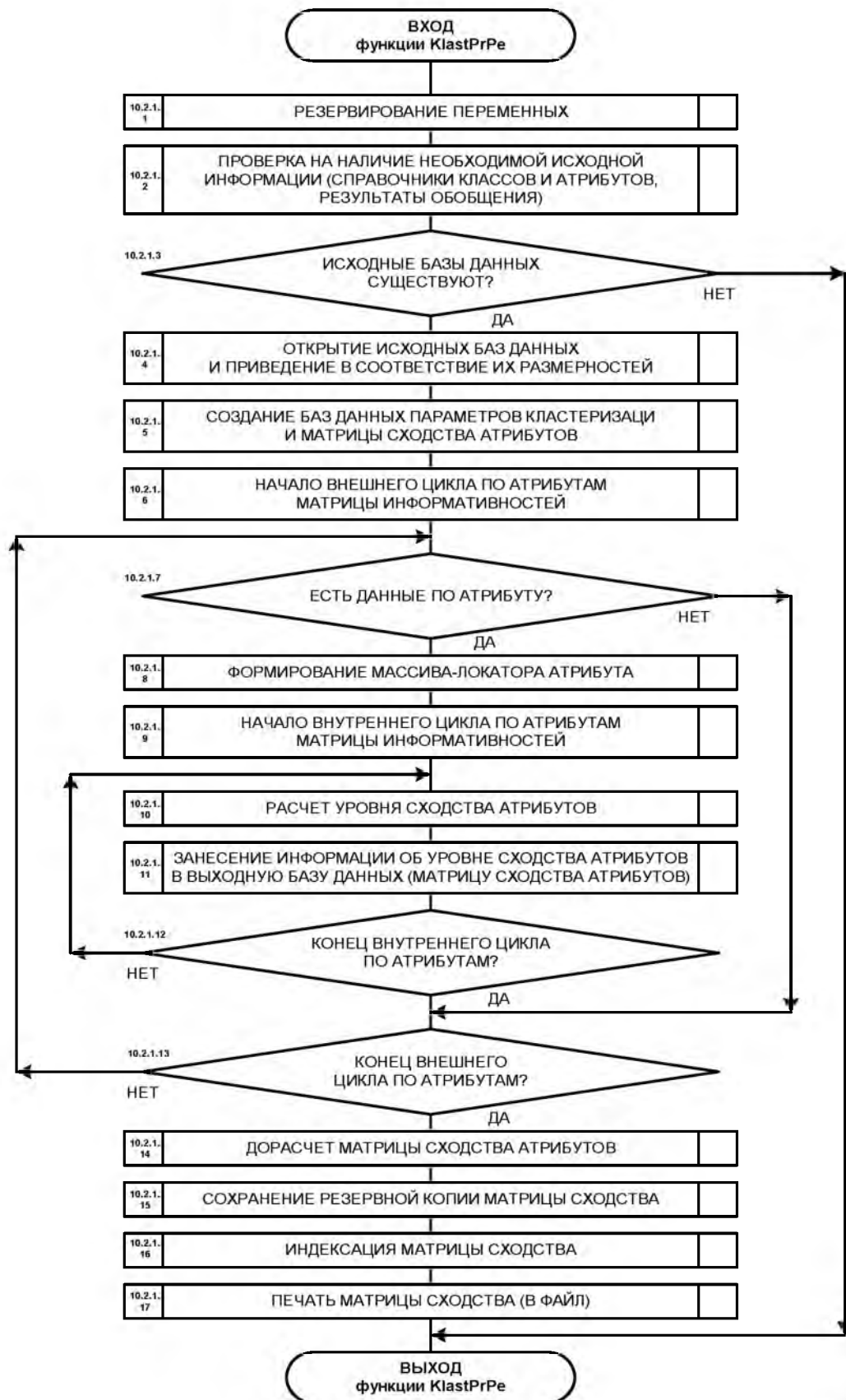


Рисунок 7 - Алгоритм БКОСА10.2.1. "Классификация факторов"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 10.2.2: "РАСЧЕТ КЛАСТЕРОВ И КОНСТРУКТОВ АТРИБУТОВ"

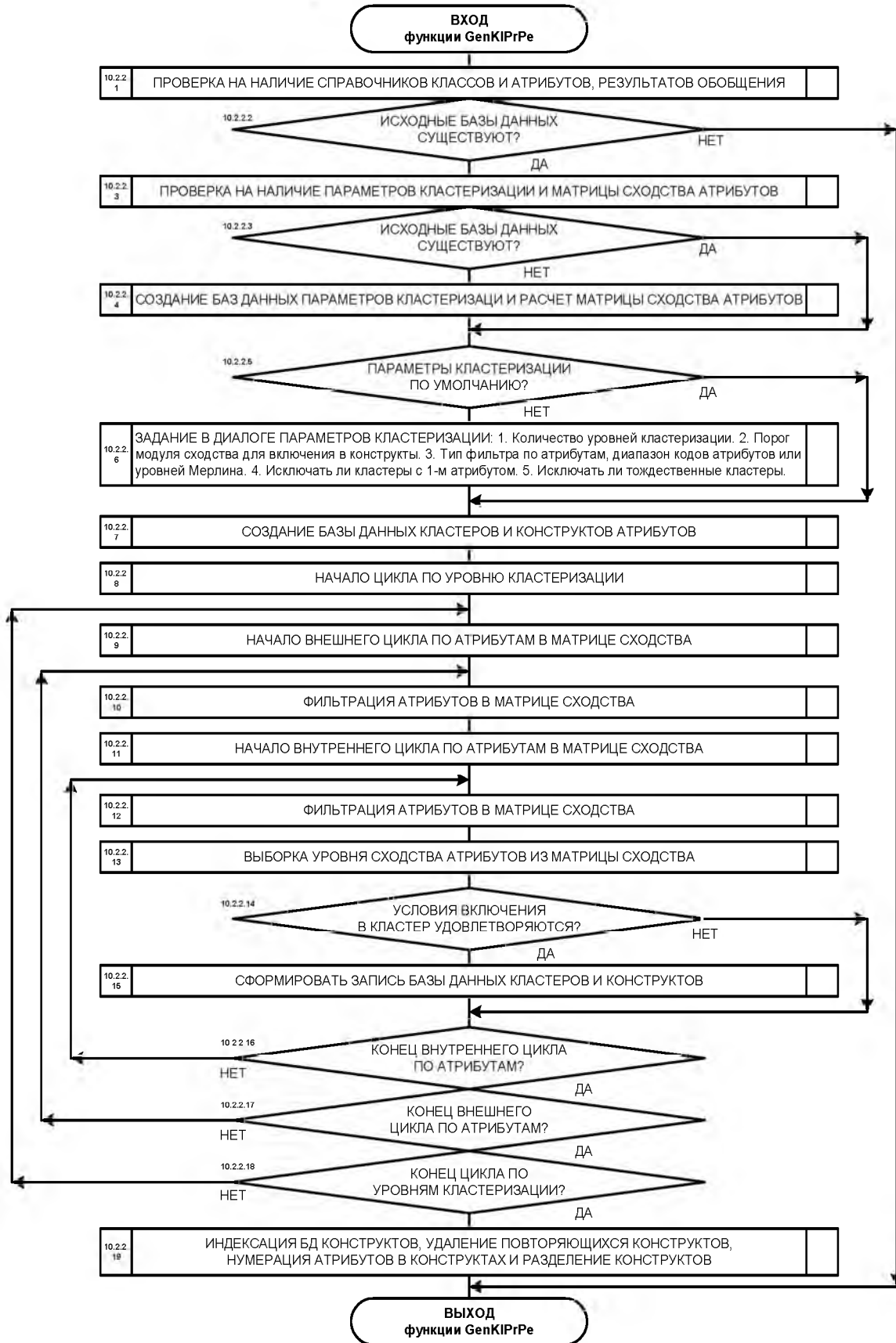


Рисунок 8 Алгоритм БКОСА-10.2.2. "Формирование бинарных конструкций факторов"



АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 10.2.3:  
"ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СЕТИ АТТРИБУТОВ"

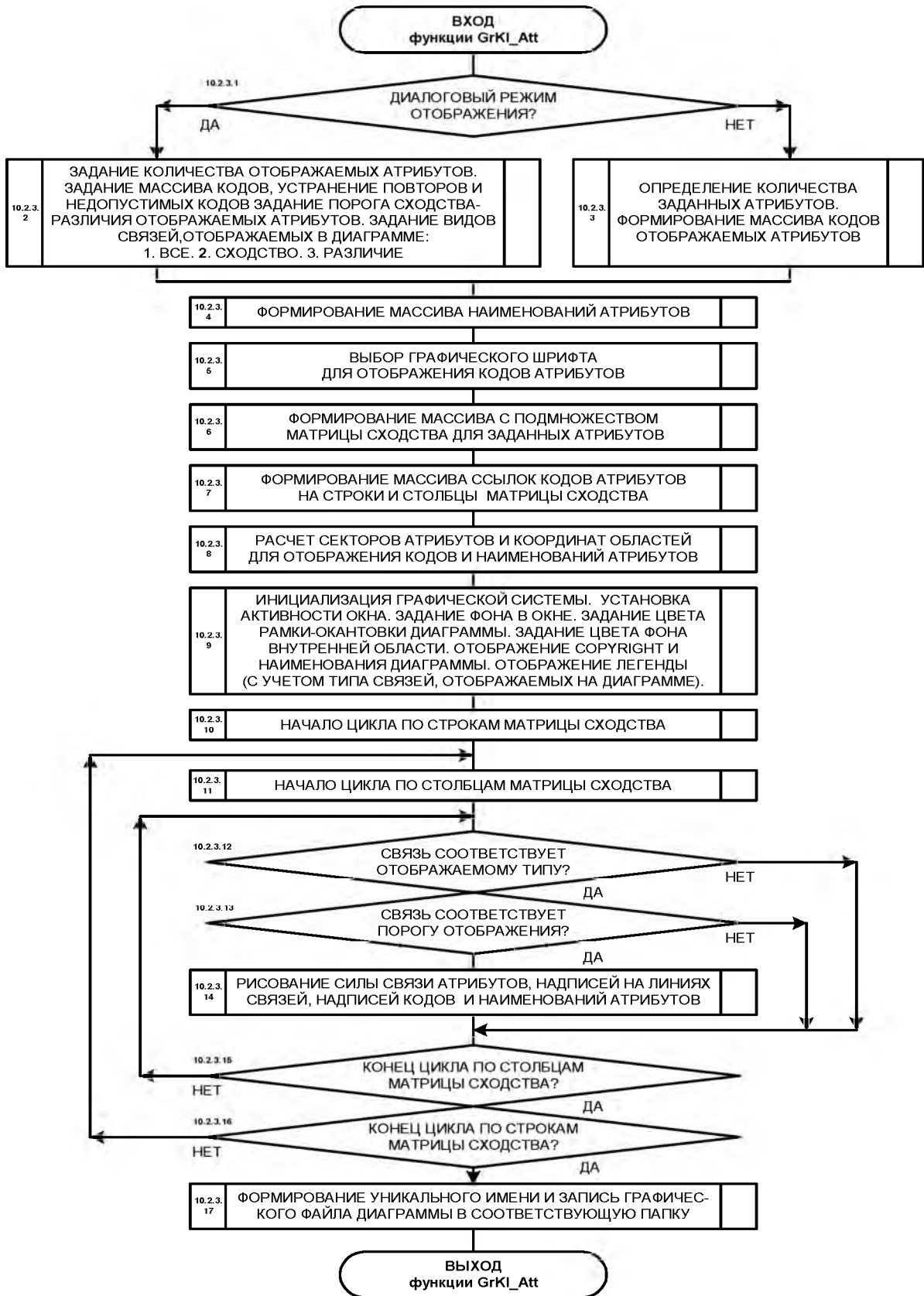


Рисунок 9 Алгоритм БКОСА-10.2.3. "Визуализация семантических сетей факторов" (когнитивная графика)

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 10.3.1:  
"РАСЧЕТ КОГНИТИВНЫХ ДИАГРАММ КЛАССОВ"

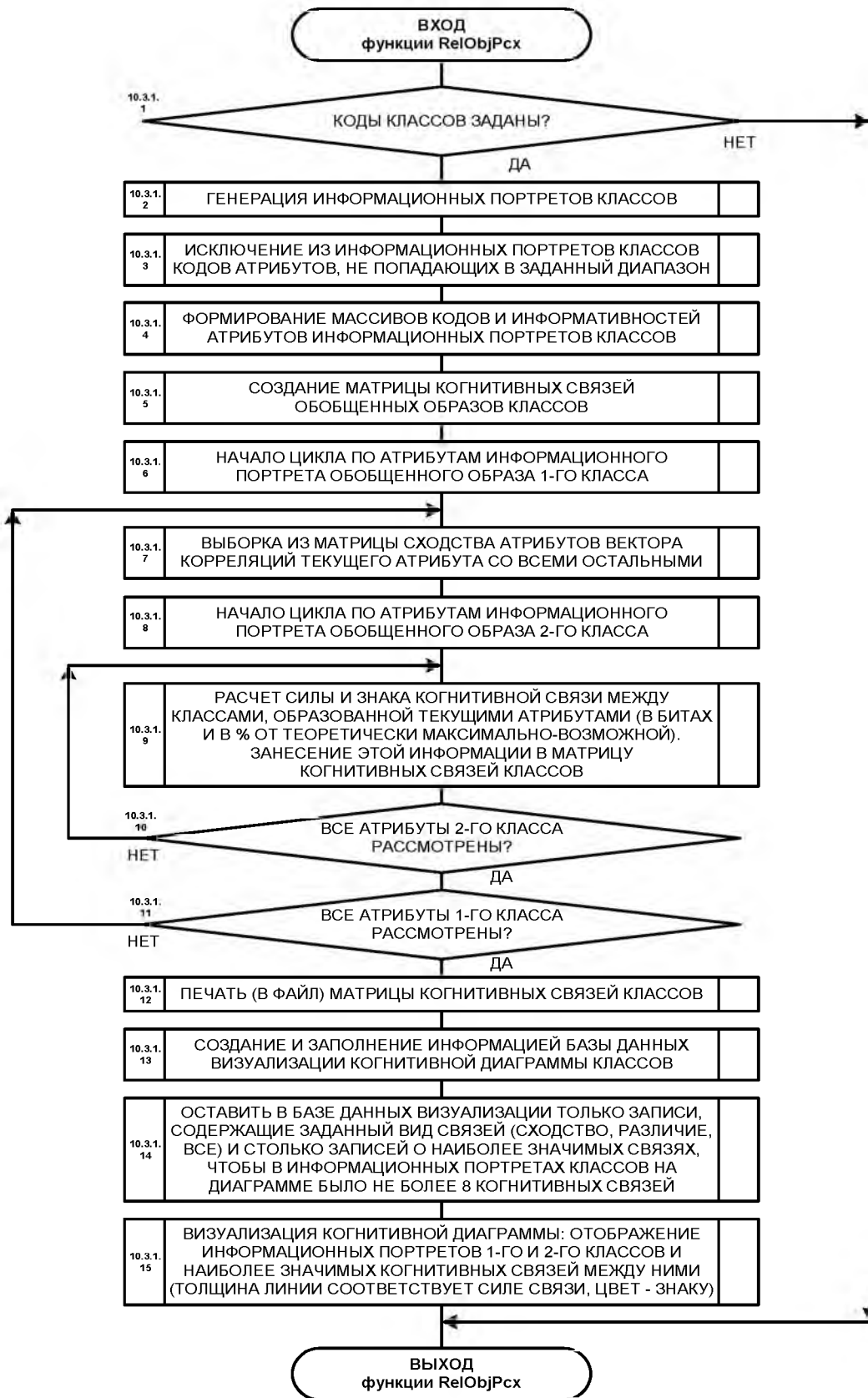


Рисунок 10 Алгоритм БКОСА-10.3.1. "Содержательное сравнение классов"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 10.3.2:  
"ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КОГНИТИВНЫХ ДИАГРАММ КЛАССОВ"

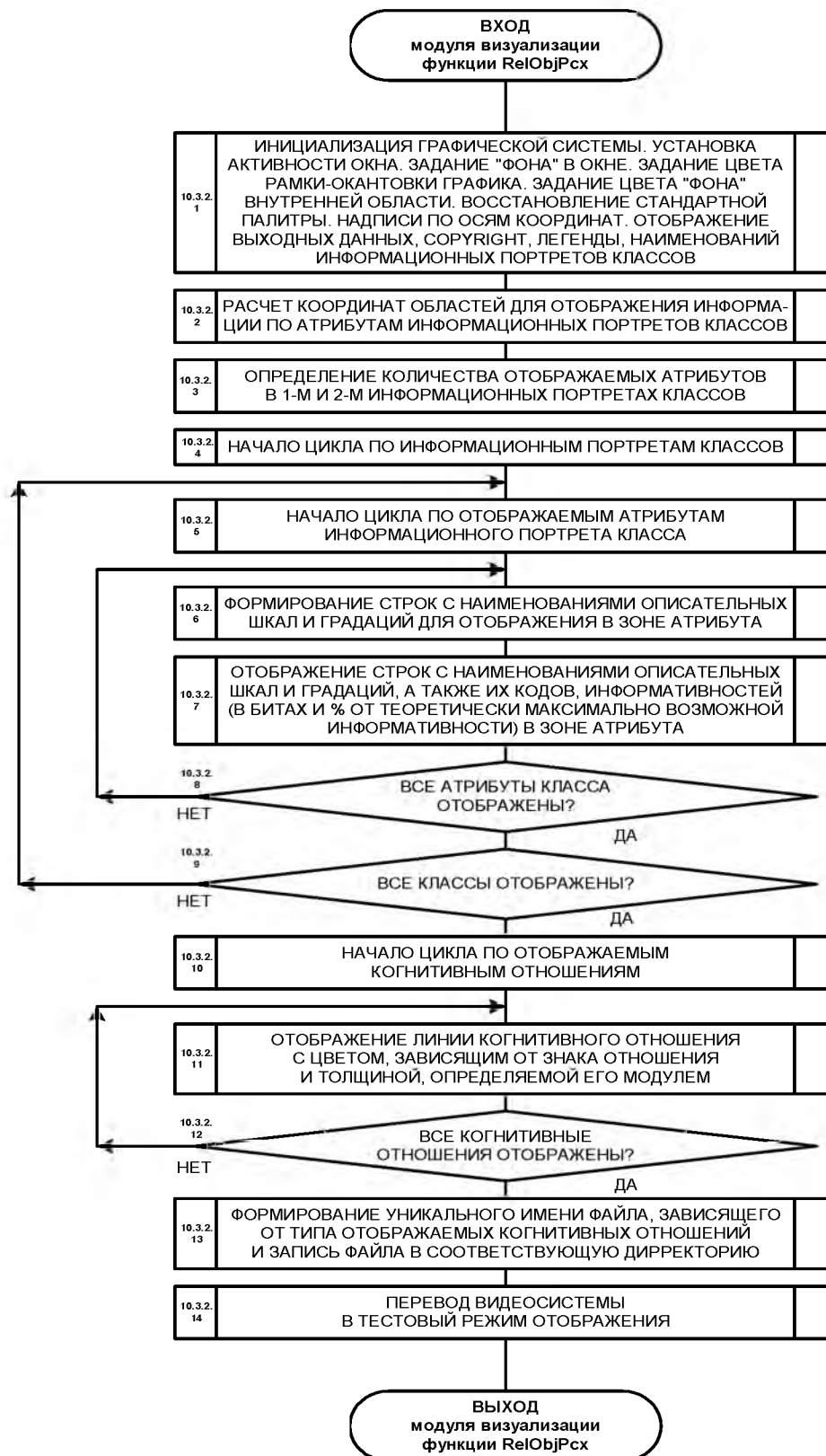


Рисунок 11 Алгоритм БКОСА-10.3.2. "Расчет и отображение многозначных когнитивных диаграмм, в т.ч. диаграмм Мерлина" (когнитивная графика)

**АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 10.4.1:  
"РАСЧЕТ КОГНИТИВНЫХ ДИАГРАММ АТРИБУТОВ"**

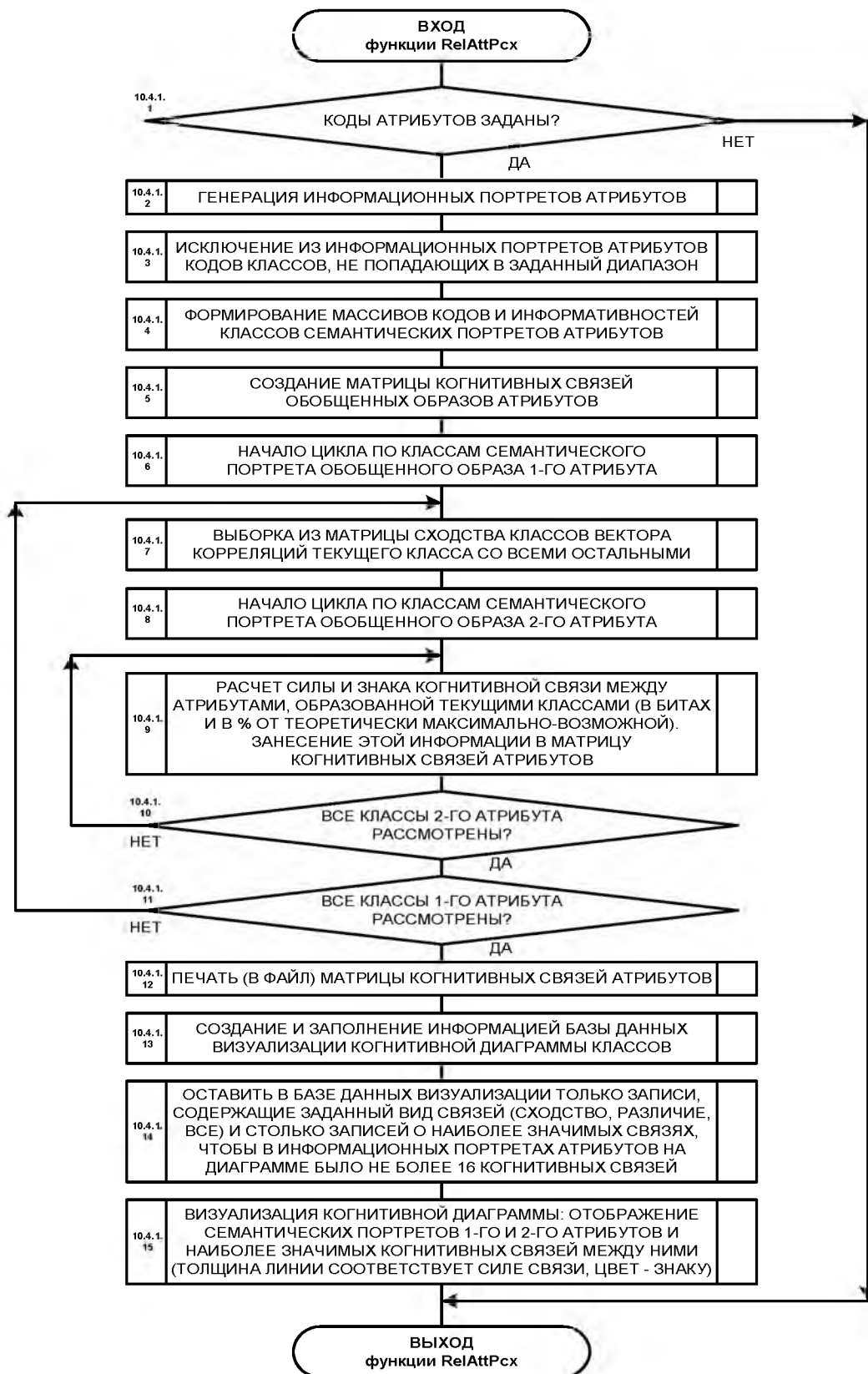


Рисунок 12 Алгоритм БКОСА-10.4.1. "Содержательное сравнение факторов"

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 10.4.2:  
"ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КОГНИТИВНЫХ ДИАГРАММ АТРИБУТОВ"

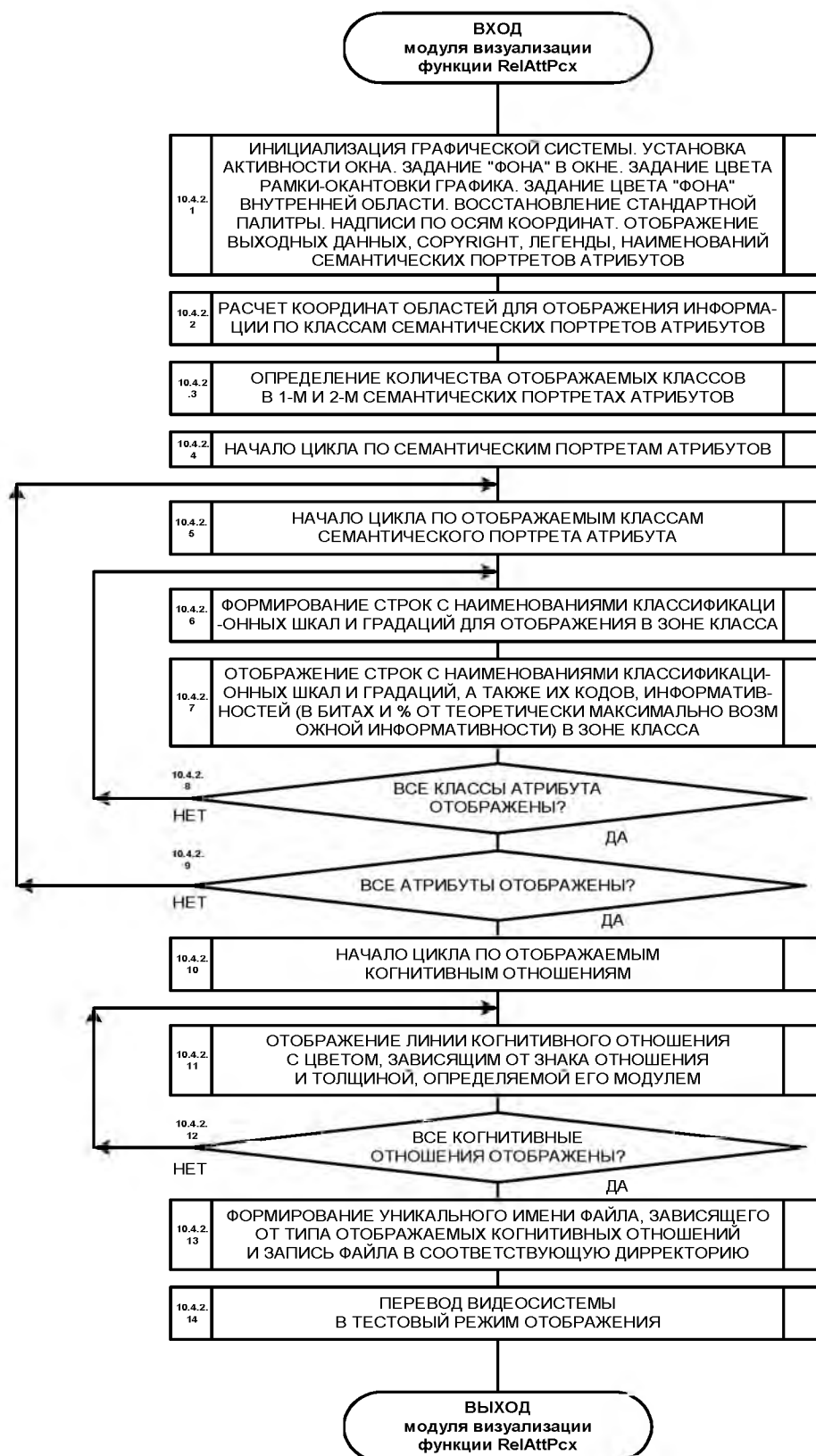


Рисунок 5.44 - Алгоритм БКОСА-10.4.2. "Расчет и отображение многозначных когнитивных диаграмм, в т.ч. инвертированных диаграмм Мерлина" (когнитивная графика)

АЛГОРИТМ КОГНИТИВНОЙ ОПЕРАЦИИ 11:  
"МНОГОФАКТОРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ"

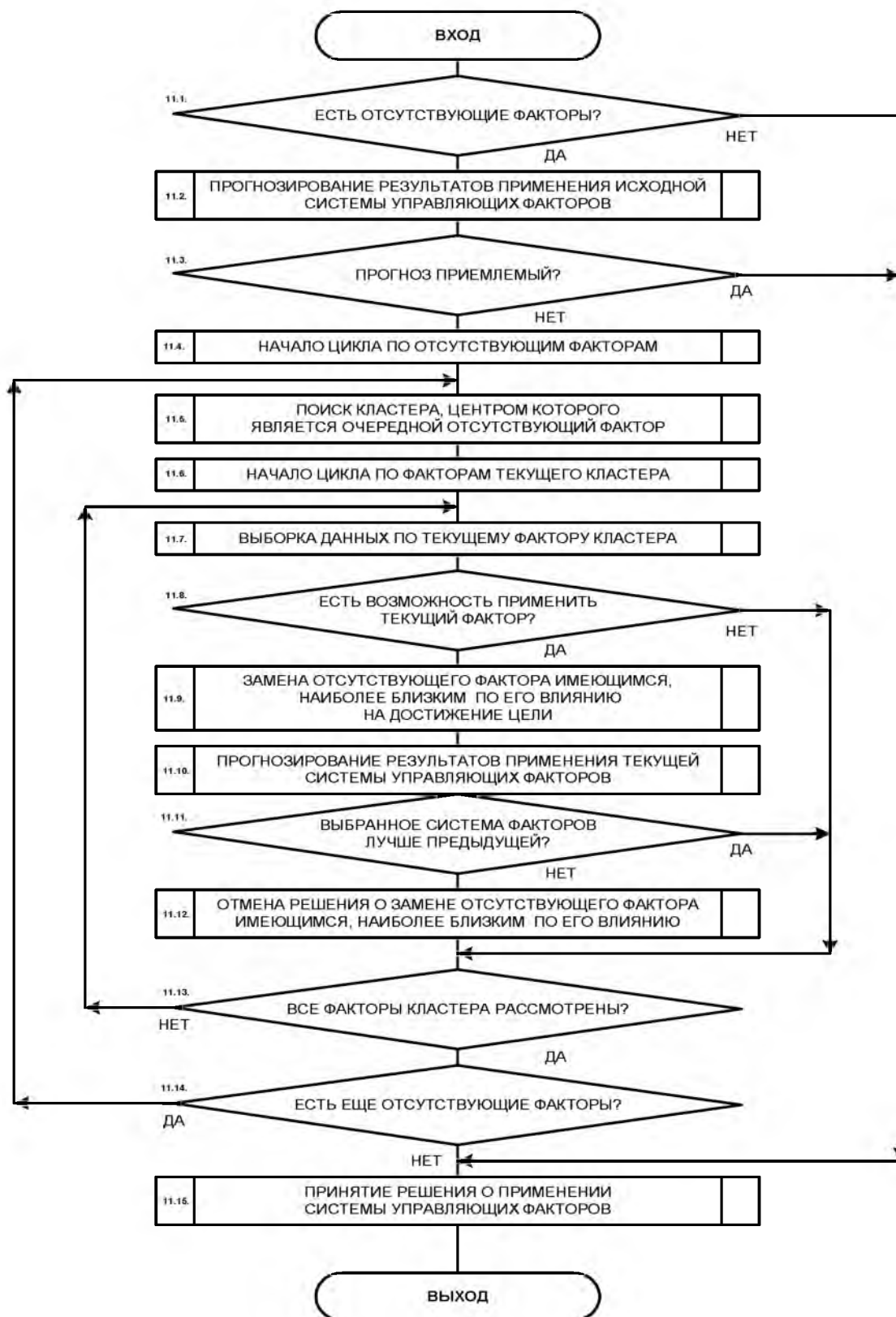


Рисунок 5.45 - Алгоритм БКОСА-11. "Многовариантное планирование и принятие решения о применении системы управляющих факторов"

***Резюме***

1. Разработан **численный метод СК-анализа**, включающий:

– иерархическую структуру данных семантической информационной модели;

– 24 детальных алгоритма 10 базовых когнитивных операций системного анализа, алгоритмы кластерно-конструктивного и когнитивного анализа, нечеткой логики и когнитивной графики, обеспечивающие оригинальную визуализацию результатов интеллектуального анализа данных (нечеткие графы).

2. Предложенный численный метод СК-анализа обеспечил конкретизацию моделей БКОСА, достаточную для их реализации в одной программной системе.

### ***Контрольные вопросы***

1. Принципы формализации предметной области и подготовки эмпирических данных.

2. Иерархическая структура данных и последовательность численных расчетов в СК-анализе

3. Обобщенное описание алгоритмов СК-анализа

4. БКОСА-2.1. "Восприятие и запоминание исходной обучающей информации".

5. БКОСА-2.2. "Репрезентация. Сопоставление индивидуального опыта с коллективным (общественным)".

6. БКОСА-3.1.1. "Обобщение (синтез, индукция). Накопление первичных данных".

7. БКОСА-3.1.2. "Обобщение (синтез, индукция). Исключение артефактов".

8. БКОСА-3.1.3. "Обобщение (синтез, индукция). Расчет степени истинности содержательных смысловых связей между предпосылками и результатами (обобщенных таблиц решений)".

9. БКОСА-3.2. "Определение значимости шкал и градаций факторов, уровней Мерлина".

10. БКОСА-3.3. "Определение значимости шкал и градаций классов, уровней Мерлина".

11. БКОСА-4.1. "Абстрагирование факторов (снижение размерности семантического пространства факторов)".

12. БКОСА-4.2. "Абстрагирование классов (снижение размерности семантического пространства классов)".

13. БКОСА-5. "Оценка адекватности информационной модели предметной области".

14. БКОСА-7. "Сравнение, идентификация и прогнозирование. Распознавание состояний конкретных объектов (объектный анализ)".

15. БКОСА-9.1. "Дедукция и абдукция классов (семантический анализ обобщенных образов классов, решение обратной задачи прогнозирования)".

16. БКОСА-9.2. "Дедукция и абдукция факторов (семантический анализ факторов)".

17. БКОСА-10.1.1. "Классификация обобщенных образов классов".

18. БКОСА-10.1.2. "Формирование бинарных конструкторов классов".
19. БКОСА-10.1.3. "Визуализация семантических сетей классов".
20. БКОСА-10.2.1. "Классификация факторов".
21. БКОСА-10.2.2. "Формирование бинарных конструкторов факторов".
22. БКОСА-10.2.3. "Визуализация семантических сетей факторов".
23. БКОСА-10.3.1. "Содержательное сравнение классов".
25. БКОСА-10.3.2. "Расчет и отображение многозначных когнитивных диаграмм, в т.ч. диаграмм Вольфа Мерлина".
26. БКОСА-10.4.1. "Содержательное сравнение факторов".
27. БКОСА-10.4.2. "Расчет и отображение многозначных когнитивных диаграмм, в т.ч. инвертированных диаграмм Мерлина".
28. БКОСА-11. "Многовариантное планирование и принятие решения о применении системы управляющих факторов".
29. Детальные алгоритмы СК-анализа.

### ***Рекомендуемая литература***

1. Луценко Е.В. Теоретические основы и технология адаптивного семантического анализа в поддержке принятия решений (на примере универсальной автоматизированной системы распознавания образов "ЭЙДОС-5.1"). - Краснодар: КЮИ МВД РФ, 1996. - 280с.
2. Луценко Е. В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем): Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ. 2002. – 605 с.



## 6. Лекция-6 Специальное инструментальное программное обеспечение, реализующее математическую модель и численный метод АСК-анализа – Универсальная когнитивная аналитическая система "Эйдос".

### 2.6.1 История системы «Эйдос»<sup>110</sup>

*Системы искусственного интеллекта  
помогают решать сложнейшие проблемы,  
которые не возникали, пока этих систем не было  
(IT-фольклор)*

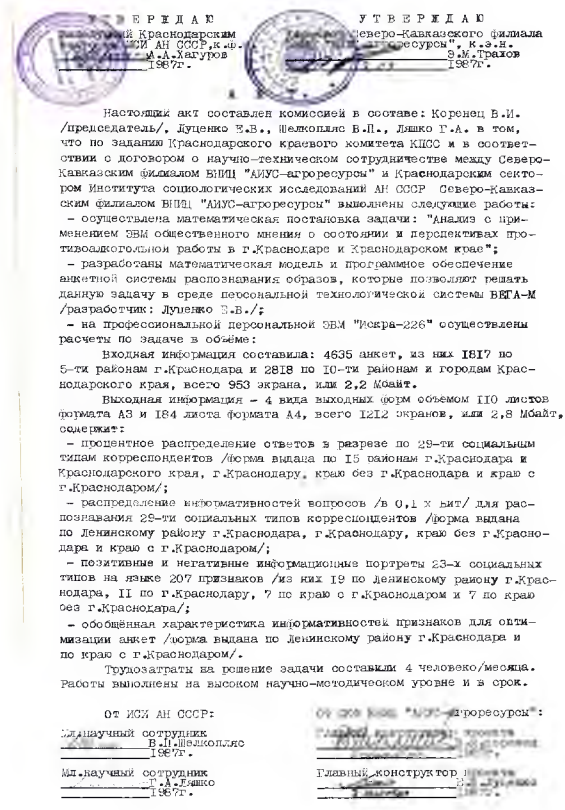
Универсальная когнитивная аналитическая система «Эйдос», по-видимому, является одной из первых реально работающих отечественных универсальных систем искусственного интеллекта, широко применяемых и развивающихся и в настоящее время. Математическая модель Универсальной когнитивной аналитической системы "Эйдос", а также методика численных расчетов (алгоритмы и структуры данных) и функциональная структура системы разработаны автором в 1979 году, когда он работал старшим инженером на вычислительном центре Краснодарского медицинского института<sup>111</sup> и занимался разработкой математических моделей и алгоритмов медицинских диагностических систем. Впервые математическая модель системы «Эйдос» прошла экспериментальную апробацию в ходе численного эксперимента в 1981 году. С 1981 по 1992 система "Эйдос" неоднократно реализовалась автором в предметно-зависимых приложениях на платформе Wang (на компьютерах Wang-2200с) в среде персональной технологической системы «Вега» (1983 год) [23], во многом функционально аналогичной MS Excel (включая деловую графику), но опережавшей его лет на 10. Два акта внедрения ранней версии системы «Эйдос» (1987 год) приведен ниже.

Для IBM-совместимых персональных компьютеров система "Эйдос" была реализована в универсальной постановке (не зависящей от предметной области) в 1992 году и с тех она пор совершенствуется постоянно, вплоть до настоящего времени. В 1993 году впервые была опубликована математическая модель системы «Эйдос» [24]. В 1994 году (т.е. 15 лет назад) на систему "Эйдос" и связанные с ней разработки получены 3 свидетельства РосПатента: №№ 940217, 940328 и 940334 [14, 15, 16], ставшие первыми в Краснодарском крае, а возможно и в России, патентами на сис-

---

<sup>110</sup> Источник: Луценко Е.В. 30 лет системе «Эйдос» – одной из старейших отечественных универсальных систем искусственного интеллекта, широко применяемых и развивающихся и в настоящее время / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №10(054). С. 48 – 77. – Шифр Информрегистра: 04209000120110, IDA [article ID]: 0540910004. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/10/pdf/04.pdf>, 1,875 у.п.л.

<sup>111</sup> <http://lc.kubagro.ru/aidos/Auto0700.htm>



темы искусственного интеллекта. Отметим, что именно в 1994 году в Российской Федерации впервые появилась возможность правовой защиты авторских прав на программы для ЭВМ. Позже были получены еще ряд свидетельств РосПатента [17-22]112.

Система «Эйдос» применялась для решения задач прогнозирования, поддержки принятия решений и научных исследований во многих предметных областях. Обзор применений системы «Эйдос» до 2002 года приведен в 7-й главе работы [5]113, где приведена и ссылка на акты внедрения. О применениях системы «Эйдос» с 2002 года по настоящее время можно судить по работам [6-13], публикациям в Научном журнале КубГАУ: <http://ej.kubagro.ru/a/viewaut.asp?id=11> и материалам сайта автора: <http://lc.kubagro.ru>. Система "Эйдос" является высокоэффективным инструментом научных исследований в самых различных предметных областях, в которых требуется обобщение (многопараметрическая типизация), системная (многопараметрическая) идентификация, прогнозирование и принятие решений, сравнение, классификация, и была успешно применена в экономике, технических науках, педагогике, социологии, психологии, психофизиологии, биологии, медицине, агрономии, сельскохозяйственных науках (растениеводстве и плодоводстве), рекламных и маркетинговых исследованиях, геофизике, климатологии, мелиорации и других науках. Она была применена также при выполнении ряда кандидатских и докторских диссертационных работ по экономическим, техническим и психологическим наукам114:

112 <http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>  
 113 <http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos02/7.htm> <http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos02/PR-4.htm>  
 114 <http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>

- 3 доктора экономических наук;
- 2 доктора технических наук;
- 4 кандидата психологических наук;
- 1 кандидат технических наук.

С 1999 по 2002 год система «Эйдос» применялась в учебном процессе в Кубанском государственном технологическом университете (КубГТУ) при преподавании дисциплин: "Новые информационные технологии в учебном процессе", "Комплексные технологии в науке и образовании". С 2002 года и по настоящее время система «Эйдос» применяется в Кубанском государственном аграрном университете (КубГАУ) и Адыгейском государственном университете (АГУ) при преподавании дисциплины «Интеллектуальные информационные системы», а в КубГАУ также и при преподавании дисциплин: "Основы теории управления" и «Компьютерные технологии в строительной науке и образовании» (магистерский курс).

Разработанный автором системно-когнитивный анализ (СК-анализ) и его программный инструментарий – Универсальная когнитивная аналитическая система "Эйдос", нашли свое отражение в Internet<sup>115</sup>.

### **2.6.1.1. Назначение и состав системы "Эйдос"**

#### ***1.1. Цели и основные функции системы "Эйдос"***

Универсальная когнитивная аналитическая система "Эйдос" (система «Эйдос») является отечественным лицензионным программным продуктом [14-23], созданным с использованием официально приобретенного лицензионного программного обеспечения. Система «Эйдос» включает базовую систему, ряд систем окружения и программные интерфейсы импорта данных из внешних баз данных различных стандартов.

По системе "Эйдос" и различным аспектам ее практического применения имеется более сотни публикаций автора с соавторами, в т.ч. 10 монографий и три учебных пособия с грифами УМО и министерства [1-13].

Система "Эйдос" является программным инструментарием, реализующим теоретическую концепцию, математическую модель и методику численных расчетов Системно-когнитивного анализа (СК-анализ) [5] и обеспечивает реализацию следующих основных функций:

1. Синтез и адаптация семантической информационной модели предметной области, включая активный объект управления и оружающую среду.

2. Идентификация и прогнозирование состояния активного объекта управления, а также разработка управляющих воздействий для его перевода в заданные целевые состояния.

3. Углубленный анализ семантической информационной модели предметной области.

<sup>115</sup> <http://vandex.ru/vandsearch?text=системно-когнитивный%20анализ&lr=10995>

[http://vandex.ru/vandsearch?text=универсальная%20когнитивная%20аналитическая%20система%20"эйдос"&lr=10995](http://vandex.ru/vandsearch?text=универсальная%20когнитивная%20аналитическая%20система%20)

## **Синтез содержательной информационной модели предметной области**

Синтез модели в СК-анализе осуществляется с применением подсистем: "Словари", "Обучение", "Оптимизация", "Распознавание" и "Анализ". Он включает следующие этапы:

- 1) формализация (когнитивная структуризация предметной области);
- 2) формирование исследуемой выборки и управление ею;
- 3) синтез или адаптация модели;
- 4) оптимизация модели;
- 5) измерение адекватности модели (внутренней и внешней, интегральной и дифференциальной валидности), ее скорости сходимости и семантической устойчивости.

### **Идентификация и прогнозирование состояния объекта управления, выработка управляющих воздействий**

Данный вид работ осуществляется с помощью подсистем "Распознавание" и "Анализ". Эти подсистемы обеспечивают: ввод распознаваемой выборки; пакетное распознавание; вывод результатов распознавания и их оценку, в т.ч. с использованием данных по дифференциальной валидности модели.

### **Углубленный анализ содержательной информационной модели предметной области**

Этот анализ выполняется в подсистеме "Типология", которая включает:

1. Информационный и семантический анализ классов и признаков.
2. Кластерно-конструктивный анализ классов распознавания и признаков, включая визуализацию результатов анализа в оригинальной графической форме когнитивной графики (семантические сети классов и признаков).
3. Когнитивный анализ классов и признаков (когнитивные диаграммы и диаграммы Вольфа Мерлина).

### ***1.2. Обобщенная структура системы DOS-версии системы "Эйдос"***

Система "Эйдос" включает *семь* подсистем, состоящих из режимов, подрежимов, функций и подфункций (включающих в свою очередь функциональное меню, пункты которого здесь не приводятся):

#### **1. Формализация предметной области (ПО)**

- 1.1. Классификационные шкалы и градации
- 1.2. Описательные шкалы (и градации)
- 1.3. Градации описательных шкал (признаки)
- 1.4. Иерархические уровни систем
  - 1.4.1. Уровни классов
  - 1.4.2. Уровни признаков
- 1.5. Программные интерфейсы для импорта данных
  - 1.5.1. Импорт данных из TXT-фалов стандарта DOS-текст
  - 1.5.2. Импорт данных из DBF-файлов стандарта проф. А.Н.Лебедева

- 1.5.3. Импорт из транспонированных DBF-файлов проф. А.Н.Лебедева
- 1.5.4. Генерация шкал и обучающей выборки RND-модели
- 1.5.5. Генерация шкал и обучающей выборки для исследования чисел
- 1.5.6. Транспонирование DBF-матриц исходных данных
- 1.5.7. Импорт данных из DBF-файлов стандарта Евгения Лебедева
- 1.5.8. Системно-когнитивный анализ стандартных графических шрифтов<sup>116</sup>
- 1.6. Почтовая служба по НСИ
  - 1.6.1. Обмен по классам
  - 1.6.2. Обмен по обобщенным признакам
  - 1.6.3. Обмен по первичным признакам

#### 1.7. Печать анкеты

### 2. Синтез СИМ

- 2.1. Ввод–корректировка обучающей выборки
- 2.2. Управление обучающей выборкой
  - 2.2.1. Параметрическое задание объектов для обработки
  - 2.2.2. Статистическая характеристика, ручной ремонт
  - 2.2.3. Автоматический ремонт обучающей выборки
- 2.3. Синтез семантической информационной модели СИМ
  - 2.3.1. Расчет матрицы абсолютных частот
  - 2.3.2. Исключение артефактов (робастная процедура)
  - 2.3.3. Расчет матрицы информативностей СИМ-1 и сделать ее текущей
  - 2.3.4. Расчет условных процентных распределений СИМ-1 и СИМ-2
  - 2.3.5. Автоматическое выполнение режимов 1–2–3–4
  - 2.3.6. Зависимость достоверности СИМ от объема обучающей выборки, сходимость и устойчивость СИМ, поиск периодов эргодичности и точек бифуркации
  - 2.3.7. Расчет матрицы информативностей СИМ-2 и сделать ее текущей
- 2.4. Почтовая служба по обучающей информации
- 2.5. Синтез СИМ и измерение ее адекватности

### 3. Оптимизация СИМ

- 3.1. Формирование ортонормированного базиса классов
- 3.2. Исключение признаков с низкой селективной силой
- 3.3. Удаление классов и признаков, по которым недостаточно данных
- 3.4. Разделение классов на типичную и нетипичную части
- 3.5. Генерация сочтаных признаков и перекодирование обучающей выборки

### 4. Распознавание

- 4.1. Ввод–корректировка распознаваемой выборки
- 4.2. Пакетное распознавание
- 4.3. Вывод результатов распознавания

---

<sup>116</sup> <http://ej.kubagro.ru/2009/07/pdf/05.pdf>



- 4.3.1. Разрез: один объект – много классов
- 4.3.2. Разрез: один класс – много объектов
- 4.4. Почтовая служба по распознаваемой выборке
- 4.5. Построение когнитивных функций влияния
- 4.6. Докодирование сочетаний признаков в распознаваемой выборке
- 4.7. Назначения объектов на классы (задача о назначениях)<sup>117</sup>
  - 4.7.1. Задание ограничений на ресурсы по классам
  - 4.7.2. Ввод затрат на объекты
  - 4.7.3. Назначение объектов на классы (LC-алгоритм)
  - 4.7.4. Сравнение эффективности LC и RND алгоритмов

## 5. Типология

- 5.1. Типологический анализ классов распознавания
  - 5.1.1. Информационные (ранговые) портреты (классов)
  - 5.1.2. Кластерный и конструктивный анализ классов
    - 5.1.2.1. Расчет матрицы сходства образов классов
    - 5.1.2.2. Генерация кластеров и конструкторов классов
    - 5.1.2.3. Просмотр и печать кластеров и конструкторов
    - 5.1.2.4. Автоматическое выполнение режимов: 1,2,3
    - 5.1.2.5. Вывод 2d семантических сетей классов
  - 5.1.3. Когнитивные диаграммы классов
- 5.2. Типологический анализ первичных признаков
  - 5.2.1. Информационные (ранговые) портреты признаков
  - 5.2.2. Кластерный и конструктивный анализ признаков
    - 5.2.2.1. Расчет матрицы сходства образов признаков
    - 5.2.2.2. Генерация кластеров и конструкторов признаков
    - 5.2.2.3. Просмотр и печать кластеров и конструкторов
    - 5.2.2.4. Автоматическое выполнение режимов: 1,2,3
    - 5.2.2.5. Вывод 2d семантических сетей признаков
  - 5.2.3. Когнитивные диаграммы признаков

## 6. СК-анализ СИМ

- 6.1. Оценка достоверности заполнения объектов
- 6.2. Измерение адекватности семантической информационной модели
- 6.3. Измерение независимости классов и признаков
- 6.4. Просмотр профилей классов и признаков
- 6.5. Графическое отображение нелокальных нейронов
- 6.6. Отображение Паретто-подмножеств нейронной сети
- 6.7. Классические и интегральные когнитивные карты
- 6.8. Восстановление значений функций по признакам аргумента<sup>118</sup>
  - 6.8.1. Восстановление значений и визуализация 1d-функций
  - 6.8.2. Восстановление значений и визуализация 2d-функций
  - 6.8.3. Преобразование 2d-матрицы в 1d-таблицу с признаками точек
  - 6.8.4. Объединение многих БД: Inp\_001.dbf и т.д., в Inp\_data.dbf

<sup>117</sup> <http://ej.kubagro.ru/2009/07/pdf/04.pdf>

<sup>118</sup> <http://ej.kubagro.ru/2009/07/pdf/06.pdf>

#### 6.8.5. Помощь по подсистеме (требования к исходным данным)

### 7. Сервис

#### 7.1. Генерация (сброс) БД

##### 7.1.1. Все базы данных

##### 7.1.2. НСИ

##### 7.1.2.1. Всех баз данных НСИ

##### 7.1.2.2. БД классов

##### 7.1.2.3. БД первичных признаков

##### 7.1.2.4. БД обобщенных признаков

##### 7.1.3. Обучающая выборка

##### 7.1.4. Распознаваемая выборка

##### 7.1.5. Базы данных статистики

#### 7.2. Переиндексация всех баз данных

#### 7.3. Печать БД абсолютных частот

#### 7.4. Печать БД условных процентных распределений СИМ-1 и СИМ-2

#### 7.5. Печать БД информативностей СИМ-1 и СИМ-2

#### 7.6. Интеллектуальная дескрипторная информационно-поисковая система

#### 7.7. Копирование основных баз данных СИМ

#### 7.8. Сделать текущей матрицу информативностей СИМ-1

#### 7.9. Сделать текущей матрицу информативностей СИМ-2

Структура и взаимодействие этих подсистем и режимов позволяют полностью реализовать все аспекты СК-анализа в удобной для пользователя форме. Обобщенной структуре соответствуют и структура управления и дерево диалога системы. Подробнее теоретическая концепция системы «Эйдос», ее подсистемы и режимы, реализуемые ей функции и операции, описаны в работах [1-13]. В данной статье, в связи с ограниченностью ее объема, приводится лишь краткая характеристика некоторых из них.

#### **2.6.1.2 Пользовательский интерфейс, технология разработки и эксплуатации приложений управления знаниями в системе "ЭЙДОС"**

Не смотря на то, что данный раздел посвящен интерфейсу системы "Эйдос", видеогаммы и экранные формы в нем не приводятся в связи с ограничениями на объем и статьи, кроме того, они есть в работах [1-13]. В наименованиях разделов с описаниями подсистем и режимов системы "Эйдос" указаны коды реализуемых ими базовых когнитивных операций системного анализа (БКОСА) в соответствии с обобщенной схемой СК-анализа [5].

#### ***2.1. Начальный этап синтеза модели: когнитивная структуризация и формализация предметной области, подготовка исходных данных (подсистема "Словари") (БКОСА-1, БКОСА-2)***

Подсистема "Словари" обеспечивает формализацию предметной области. Она реализует следующие режимы: классификационные шкалы и градации; описательные шкалы и градации; градации описательных шкал;

иерархические уровни организации систем; автоматический ввод первичных признаков из текстовых файлов; ряд программных интерфейсов импорта данных из внешних баз данных различных стандартов; почтовая служба по нормативно-справочной информации; печать анкеты.

#### **Классификационные шкалы и градации (БКОСА-1.1)**

Классификационные шкалы и градации предназначены для ввода справочника будущих состояний активного объекта управления – классов. Режим: "Классификационные шкалы и градации" обеспечивает ведение базы данных классификационных шкал и градаций классов: ввод; корректировку; удаление; распечатку (в текстовый файл); сортировку; поиск по базе данных.

#### **Описательные шкалы и градации (БКОСА-1.2)**

Описательные шкалы и градации предназначены для ввода справочников факторов, влияющих на поведение активного объекта управления – признаков. В этом режиме обеспечивается ввод, удаление, корректировка, копирование наименований описательных шкал и связанных с ними градаций. Характерной особенностью системы "Эйдос" является возможность использования неальтернативных градаций, которых может быть различное количество по различным шкалам (в широких пределах). Справочник позволяет работать непосредственно с градациями (с учетом связей со шкалами), видеть их общее количество, а также просматривать и распечатывать процентное распределение ответов респондентов по.

Уровни организации систем (уровни Вольфа Мерлина) являются независимым способом классификации классов и факторов, что позволяет легко создавать и анализировать различные их подмножества как сами по себе, так и в сопоставлении друг с другом. В.С.Мерлин предложил интегральную концепцию индивидуальности, в которой рассматривал взаимодействие и взаимообусловленность различных уровней свойств личности: от генетически predeterminedенных, до социально-обусловленных и отражающих сиюминутное состояние. В системе "Эйдос" предусмотрен аппарат, позволяющий классифицировать факторы таким образом, что становится возможным исследовать различные уровни их организации и взаимообусловленности. Уровни организации классов предназначены для классификации будущих состояний активного объекта управления, как целевых, так и нежелательных с точки зрения самого объекта управления и управляющей системы, а также различных вариантов сочетаний этих вариантов. Возможны и другие виды классификации.

Система "Эйдос" обеспечивает решение задач атрибуции анонимных и псевдонимных текстов (установления вероятного авторства), датировки текстов, определения их принадлежности к определенным традициям, школам или течениям мысли. При этом различные структуры, из которых состоят тексты, рассматриваются как их атрибуты. В системе "Эйдос" реализован специальный режим, обеспечивающий автоматическое выявление и ввод этих атрибутов текстов непосредственно из текстовых файлов.

Технология работы в системе "Эйдос" текущей версии не предусматривает одновременной работы многих пользователей с одними и



теми же базами данных в режиме корректировки записей. Поэтому возможна эффективная организация распределенной работы по многомашинной технологии без использования ЛВС. Для обеспечения необходимой тождественности справочников на различных компьютерах служит режим "Почтовая служба по НСИ".

Классификационные шкалы и градации в экономических, социально-психологических и политологических исследованиях часто представляют собой опросники (анкеты). Для их распечатки в файл (в поддиректорию "ТХТ") служит режим: "Печать анкеты". В системе "Эйдос" все текстовые и графические входные и выходные формы автоматически сохраняются в виде файлов, удобных для использования в различных приложениях под Windows.

### **Ввод-корректировка обучающей информации (БКОСА-2.1)**

Данная подсистема обеспечивает ввод и корректировку обучающей выборки, управление ею, синтез и адаптацию модели на основе данных обучающей выборки, экспорт и импорт данных с других компьютеров.

Для ввода-корректировки обучающей выборки служит соответствующий режим, имеющий двухоконный интерфейс, позволяющий ввести в обучающую выборку двухвекторные описания объектов. Левое окно служит для ввода классификационной характеристики объекта. В этом окне каждому объекту соответствует одна строка с прокруткой. В правом окне вводится описательная характеристика объекта на языке признаков. Каждому объекту соответствует окно с прокруткой. Переход между окнами осуществляется по нажатию клавиши "ТАВ". Количество объектов в обучающей выборке не ограничено. Имеется практический опыт проведения расчетов с объемами обучающей выборки до 70000 объектов, суммарным количеством градаций описательных шкал до 4000 и количеством классов до 3900. Реализована также возможность автоматического формирования объектов обучающей выборки путем кодирования текстовых файлов.

В системе реализован ряд программных интерфейсов, обеспечивающих автоматическое формирование классификационных и описательных шкал и градаций, а также обучающей выборки:

- импорт данных из файлов стандарта "Текст DOS";
- импорт данных из DBF-файлов, стандарта проф. А.Н.Лебедева;
- импорт данных из транспонированных DBF-файлов, стандарта профессора А.Н.Лебедева;
- генерация случайной модели;
- генерация учебной модели для исследования свойств натуральных чисел.

### **Управление составом обучающей информации (БКОСА-2.2)**

Данный режим предназначен для управления обучающей выборкой путем параметрического задания подмножеств анкет для обработки, объединения классов, автоматического ремонта обучающей выборки ("ремонт или взвешивание данных"). Параметрическое выделение подмножества анкет для обработки может осуществляться логически и физически (рекомендуется 2-й вариант), это осуществляется путем сравнения

с анкетой-маской. В ней задаются коды тех классов и признаков, которые обязательно должны присутствовать во всех анкетах обрабатываемого подмножества. Режим: "Статистическая характеристика обучающей выборки. Ручной ремонт" предназначен для выявления слабо представленных классов (по которым недостаточно данных) и объединения нескольких классов в один. При этом производится переформирование справочника классов и автоматическое перекодирование анкет обучающей выборки. В режиме "Автоматический ремонт обучающей выборки (ремонт или взвешивание данных)" реализуется БКОСА-2.2: задается частотное распределение объектов по категориям, характерное для генеральной совокупности (или другое), затем автоматически осуществляется формирование последовательных подмножеств анкет обучающей выборки (с увеличивающимся числом анкет), на каждом этапе максимально соответствующих заданному частотному распределению генеральной совокупности. При этом используется метод последовательных приближений по минимаксному критерию: максимизация корреляции и минимизация максимального отклонения. Система рекомендует оптимальное (по этим двум критериям) подмножество и позволяет исключить остальные анкеты из рассмотрения. При достижении минимакса можно говорить об обеспечении структурной репрезентативности [5].

## **2.2. Синтез модели: пакетное обучение системы распознавания (подсистема "Обучение") (БКОСА-3)**

Данный режим обеспечивает: расчет матрицы абсолютных частот, поиск и исключение из дальнейшего анализа артефактов, расчет матрицы информативностей, расчет матрицы условных процентных распределений, пакетный режим автоматического выполнения вышеперечисленных 4-х режимов, а также исследовательский режим, обеспечивающий измерение скорости сходимости и семантической устойчивости сформированной содержательной информационной модели.

### **Расчет матрицы абсолютных частот (БКОСА-3.1.1)**

В данном режиме осуществляется последовательное считывание всех анкет обучающей выборки и использование описаний объектов для формирования статистики встреч признаков в разрезе по классам. На экране в наглядной форме отображается стадия этого процесса, который может занимать значительное время при больших размерностях задачи и объеме обучающей выборки. Кроме того, на качественном уровне красным отображается заполнение матрицы абсолютных частот данными: классы соответствуют столбцам, а признаки – строкам. Поэтому значительная фрагментарность данных легко обнаруживается еще на этой стадии. Данный режим обеспечивает полную "развязку по данным" и независимость времени исполнения процессов синтеза модели и ее анализа от объема обучающей выборки. Кроме того, в данном режиме выявляются 4 типа формально-обнаружимых ошибок в исходных данных и по ним формируется файл отчета.

### **Исключение артефактов (робастная процедура) (БКОСА-3.1.2)**

В данном режиме на основе исследования частотного распределения частот встреч признаков в матрице абсолютных частот, делаются выводы:

- об отсутствии статистики и невозможности обнаружения и исключения артефактов;
- о наличии статистики и возможности выявления артефактов (если частоты встреч признаков растут пропорционально объему обучающей выборки, то это нормально, артефактами считаются признаки, по которым эта закономерность нарушается).

На основе этих выводов рекомендуется частота, которая признается незначимой и характерной для артефактов и осуществляется перестроение баз данных с исключенными артефактами.

### **Расчет матриц информативностей (БКОСА-3.1.3, 3.2, 3.3)**

В этом режиме непосредственно на основе матрицы абсолютных частот с применением системного обобщения формулы Харкевича, предложенного автором в рамках СТИ, рассчитывается матрица информативностей, определяются значимость признаков, степень сформированности обобщенных образов классов, а также обобщенный критерий сформированности модели Харкевича для всей матрицы информативностей в целом. На экране монитора наглядно отображается стадия выполнения процесса и структура заполнения матрицы информативностей значимыми данными (на качественном уровне). На основе матрицы абсолютных частот рассчитывается и матрица условных процентных распределений.

**Автоматическое выполнение режимов 1-2-3-4.** В данном пакетном режиме последовательно выполняются ранее перечисленные режимы обучения системы (кроме режима исключения артефактов).

### **Измерение сходимости и устойчивости модели**

Для измерения сходимости и устойчивости модели СК-анализа задаются параметры, определяющие исследование скорости сходимости:

- порядок выборки анкет (физический, случайный, в порядке возрастания соответствия генеральной совокупности, в порядке убывания степени многообразия, вносимого анкетой в модель);
- количество и коды признаков, по которым исследуется сходимость модели;
- интервал сглаживания для расчета скользящей погрешности.

В данном режиме организован цикл по объектам обучающей выборки, в котором после учета каждой анкеты в матрице абсолютных частот перерасчитывается матрица информативностей и в отдельной базе данных запоминаются информативности для заданных признаков. Это позволяет измерять и графически отображать скорость сходимости и семантическую устойчивость модели. В работе [5] на примере прогнозирования фондового рынка, подробно рассматриваются вопросы сходимости и семантической устойчивости содержательной информационной модели.

**Почтовая служба по обучающей информации** обеспечивает экспорт и импорт баз данных обучающей выборки при решении задач в системе "Эйдос" по многомашинной технологии.

### **2.3. Оптимизация модели (подсистема "Оптимизация") (БКОСА-4)**

В данной подсистеме реализовано несколько различных подходов к повышению адекватности модели: контролируемое существенное снижение размерности семантических пространств классов и атрибутов при несущественном уменьшении их объема без уменьшения адекватности модели; разделение классов на типичные и нетипичные части и другие, некоторые из которых кратко будут рассмотрены ниже.

#### **Формирование ортонормированного базиса классов (БКОСА-4.2)**

Формирование ортонормированного базиса классов реализуется с применением одного из трех итерационных алгоритмов оптимизации, относящиеся к методу последовательных приближений:

- 1) исключение из модели заданного количества наименее сформированных классов;
- 2) исключение заданного процента количества классов от оставшихся (адаптивный шаг);
- 3) исключение классов, вносящих заданный процент степени сформированности от оставшегося суммарного (адаптивный шаг).

Критерий остановки процесса последовательных приближений – срабатывание хотя бы одного из заданных ограничений:

- а) достигнуто заданное минимальное количество классов в модели;
- б) достигнута заданная полнота описания признака.

Прокрутка окна вправо позволяет просмотреть дополнительные характеристики, позволяющие оценить степень сформированности образов классов и ортонормированность пространства классов.

#### **Исключение признаков с низкой селективной силой (БКОСА-4.1)**

С этой целью реализовано три итерационных алгоритма оптимизации, относящиеся к методу последовательных приближений:

- путем исключения из модели заданного количества наименее значимых признаков;
- путем исключения заданного процента количества признаков от оставшихся (адаптивный шаг);
- путем исключения признаков, вносящих заданный процент значимости от оставшейся суммарной (адаптивный шаг).

Критерий остановки процесса исключения признаков с низкой селективной силой – срабатывание одного из заданных ограничений:

- а) достигнуто заданное минимальное количество признаков в модели;
- б) достигнуто заданное минимальное количество признаков на класс (полнота описания класса).

#### **Удаление классов и признаков, по которым недостаточно данных**

В данном режиме реализована возможность удаления из модели всех классов и признаков, по которым или вообще нет данных, или их

недостаточно в соответствии с заданным критерием. Этот режим сходен с режимом выявления и исключения артефактов.

#### **Разделение классов на типичную и нетипичные части**

Если объекты, относящиеся к классу, обладают незначительной вариабельностью по признакам, то обобщенный образ класса получается четким и хорошо идентифицируемым, если же эта вариабельность высока, то он получается аморфным, расплывчатым и класс плохо идентифицируемым, в результате чего во втором случае объекты, в действительности принадлежащие к данному классу иногда не относятся системой к нему, т.е. рассматриваются как нетипичные. В данном режиме (\_34) реализован эффективный итерационный алгоритм, в котором на основе этих нетипичных объектов создаются новые классы с тем же названием, что и исходный и с указанием номера итерации, на которой они созданы. В результате классы с высокой внутренней вариабельностью входящих в них объектов разбиваются на подклассы с низкой внутренней вариабельностью и достоверность модели быстро возрастает.

#### **2.4. Верификация модели (оценка ее адекватности) (БКОСА-5)**

Данный режим выполняется после синтеза модели. Верификация модели осуществляется путем копирования обучающей выборки в распознаваемую, пакетного распознавания и последующего анализа в режиме "Измерение валидности системы распознавания" подсистемы "Анализ". Он показывает средневзвешенную погрешность идентификации (интегральная валидность) и погрешность идентификации в разрезе по классам. При этом объект считается отнесенным к классу, с которым у него наибольшее сходство. Необходимо отметить, что остальные классы, находящиеся по уровню сходства на второй и последующих позициях *не учитываются*. Это обусловлено тем, что их учет привел бы к *завышению* оценки валидности модели.

Классы, по которым дифференциальная валидность неприемлемо низка считаются не сформированными. Причинами этого может быть очень высокая вариабельность объектов, отнесенных к данным классам (тогда имеет смысл разделить их на несколько), а также недостаток достоверной классификационной и описательной информации по этим классам (некорректная работа экспертов).

#### **2.5. Эксплуатация приложения в режиме адаптации и периодического синтеза модели (БКОСА-7, БКОСА-9, БКОСА-10)**

##### **Идентификация и прогнозирование (подсистема "Расознавание") (БКОСА-7)**

Данная подсистема реализует режимы ввода и корректировки распознаваемой выборки; пакетного распознавания; вывода результатов и межмашинного обмена данными. Ввод-корректировка распознаваемых анкет осуществляется в двухоконном интерфейсе: в левом окне показаны заголовки идентифицируемых объектов, в которых отображаются их коды и условные

наименования, а в правом окне – описания объектов на языке признаков. В левом окне каждому объекту соответствует строка, а в правом – окно с прокруткой. Переход между окнами происходит по нажатию клавиши "ТАВ". В данном режиме каждая анкета распознаваемой выборки последовательно идентифицируется с каждым классом. Вывод результатов распознавания (идентификации и прогнозирования) возможен в двух разрезах:

- а) информация о сходстве каждого объекта со всеми классами;
- б) информация о сходстве каждого класса со всеми объектами.

Система генерирует обобщающий отчет по итогам идентификации, в котором в каждой строке дана информация о классе, с которым распознаваемый объект имеет наивысший уровень сходства (в процентах). Качество результата идентификации – это эвристическая оценка качества, учитывающая максимальную величину сходства, различие между первым и вторым классами по уровню сходства и в (меньшей степени) общий вид распределения классов по уровням сходства с данным объектом. Каждой строке обобщающего отчета соответствует карточка результатов идентификации (прогнозирования), которая по сути дела представляет собой результат разложения вектора объекта в ряд по векторам классов. Эти карточки распечатываются в файл с полными наименованиями классов и содержат классы, с уровнем сходства выше заданного.

**Почтовая служба по распознаваемым анкетам** обеспечивает запись на дискету распознаваемой выборки и считывание распознаваемой выборки с дискеты с добавлением к имеющейся на текущем компьютере. Этот режим служит для объединения информации по идентифицируемым объектам, введенной на различных компьютерах.

**Подсистема "Типология"** обеспечивает типологический анализ классов и признаков.

**Типологический анализ классов** включает: информационные (ранговые) портреты; кластерно-конструктивный и когнитивный анализ классов.

### **Информационные портреты классов (БКОСА-9.1)**

Информационный портрет класса представляет собой список признаков в порядке убывания количества информации о принадлежности к данному классу. *Такой список представляет собой результат решения обратной задачи идентификации (прогнозирования).* Фильтрация (F6) позволяет выделить из информационного портрета класса диапазон признаков (по кодам или уровням Мерлина) и, таким образом, исследовать влияние заданных признаков на переход активного объекта управления в состояние, соответствующее данному классу.

**Кластерный и конструктивный анализ классов** обеспечивает: расчет матрицы сходства классов; генерацию кластеров и конструктов; просмотр и печать кластеров и конструктов; пакетный режим, обеспечивающий автоматическое выполнение первых трех режимов при установках параметров "по умолчанию"; визуализацию результатов кластерно-

конструктивного анализа в форме семантических сетей и когнитивных диаграмм.

#### **Расчет матрицы сходства эталонов классов (БКОСА-10.1.1)**

В данном режиме непосредственно на основе оптимизированной матрицы информативностей рассчитывается матрица сходства классов. На экране в наглядной форме отображается информация о текущей стадии выполнения этого процесса.

#### **Генерация кластеров и конструкторов классов (БКОСА-10.1.2)**

В данном режиме пользователем задаются параметры для генерации кластеров и конструкторов классов, позволяющие исключить из форм центральную часть конструкторов (оставить только полюса), а также сформировать кластеры и конструкторы для заданных (кодами или уровнями Мерлина) подматриц. В данном режиме обеспечивается отображение отчета по конструкторам и вывод его в виде текстового файла. Реализован режим быстрого поиска заданного конструктора и быстрый выход на него по заданному классу.

#### **Автоматическое выполнение режимов 1-2-3**

В данном пакетном режиме автоматически выполняются вышеперечисленные 3 режима с параметрами "по умолчанию". Выполнение пакетного режима целесообразно в самом начале проведения типологического анализа для общей оценки его результатов. Более детальные результаты получаются при выполнении отдельных режимов с конкретными значениями параметров.

#### **Вывод 2d-семантических сетей классов (БКОСА-10.1.3)**

В данном режиме пользователем в диалоге с системой "Эйдос" задаются коды от 3 до 12 классов (ограничение связано с тем, что больше классов не помещается на мониторе при используемом разрешении), а затем на основе данных матрицы сходства классов отображается ориентированный граф, в вершинах которого находятся классы, а ребра соответствуют знаку (красный – "+", синий – "-") и величине (толщина линии) сходства/различия между ними. Посередине каждой линии уровень сходства/различия соответствующих классов отображается в числовой форме (в процентах). Такие графы в данной работе называются 2d-семантическими сетями классов (2d означает "двухмерные").

#### **Когнитивные диаграммы классов (БКОСА-10.3.1, 10.3.2)**

В системе "Эйдос" реализован двухоконный интерфейс ввода задания на формирование когнитивных диаграмм и пример такой диаграммы. Переход между окнами осуществляется по клавише "TAB", выбор класса для когнитивной диаграммы – по нажатию клавиши "Enter". В верхней левой части верхнего окна отображаются коды выбранных классов. Генерация и вывод когнитивной диаграммы для заданных классов выполняется по нажатию клавиши F5. Отображаемые диаграммы всегда записываются в виде графических файлов в соответствующие поддиректории. Имеются также пакетные режимы генерации диаграмм: генерацию когнитивных диаграмм для полюсов конструкторов (F6), генерацию всех возможных когнитивных

диаграмм (F7), а также генерация диаграмм Вольфа Мерлина (F8). При задании всех этих режимов имеется возможность задания большого количества параметров, определяющих вид диаграмм и содержание отображаемой на них информации.

**Типологический анализ атрибутов** обеспечивает: формирование и отображение семантических портретов атрибутов (признаков), а также кластерно-конструктивный и когнитивный анализ атрибутов.

#### **Семантические портреты атрибутов (БКОСА-9.2)**

В данном режиме обеспечивается формирование семантического портрета заданного признака и его отображение в текстовой и графической формах. Окно для просмотра текстового отчета имеет прокрутку вправо, что позволяет отобразить количественные характеристики. Графическая диаграмма выводится по нажатию клавиши F5, и может быть непосредственно распечатана или записана в виде графического файла в соответствующую поддиректорию.

**Кластерный и конструктивный анализ атрибутов** обеспечивает: расчет матрицы сходства признаков; генерация кластеров и конструкторов признаков: просмотр и печать результатов кластерно-конструктивного анализа; автоматическое выполнение перечисленных режимов; отображение результатов кластерно-конструктивного анализа в форме семантических сетей и когнитивных диаграмм.

#### **Расчет матрицы сходства атрибутов (БКОСА-10.2.1)**

Стадия выполнения расчета матрицы сходства признаков наглядно отображается на мониторе.

#### **Генерация кластеров и конструкторов атрибутов (БКОСА-10.2.2)**

В данном режиме имеется возможность задания ряда параметров, детально определяющих обрабатываемые данные и форму вывода результатов анализа и отображаются результаты кластерно-конструктивного анализа. Имеются также многочисленные возможности манипулирования данными (различные варианты поиска, сортировки и фильтрации).

**Автоматическое выполнение режимов 1-2-3.** Автоматически реализуются три вышеперечисленные режима.

#### **Вывод 2d-семантических сетей атрибутов (БКОСА-10.2.3)**

Результаты кластерно-конструктивного анализа признаков отображаются для заданных признаков в наглядной графической форме семантических сетей.

#### **Когнитивные диаграммы атрибутов (БКОСА-10.4.1, 10.4.2)**

Это новый вид когнитивных диаграмм, не встречающийся в литературе. Частным случаем этих диаграмм являются инвертированные диаграммы Вольфа Мерлина (терм. авт.). При их генерации имеется возможность задания ряда параметров, определяющих обрабатываемые данные и форму отображения результатов.

**В подсистеме "Анализ"** реализованы режимы:

– оценки анкет по шкале лживости;



- измерения внутренней интегральной и дифференциальной валидности модели;
- измерения независимости классов и признаков (стандартный анализ  $\chi^2$ );
- генерации большого количества разнообразных 2d & 3d графических форм на основе данных матриц абсолютных частот, условных процентных распределений и информативностей (2d & 3d означает: "двухмерные и трехмерные");
- генерации и графического отображения нелокальных нейронов, нейронных сетей, классических и интегральных когнитивных карт.

### **Оценка достоверности заполнения анкет**

В данном режиме исследуются корреляции между ответами в каждой анкете, эти корреляции сравниваются с выявленными на основе всей обучающей выборки и все анкеты ранжируются в порядке уменьшения типичности обнаруженных в них корреляций. Считается, что если корреляции в анкете соответствуют "среднестатистическим", которые принимаются за "норму", то анкета отражает обнаруженные макрозаконмерности, если же нет, то возникает подозрение в том, что она заполнена некорректно.

**В режиме "Измерение независимости объектов и признаков"** реализован стандартный анализ  $\chi^2$ , а также рассчитываются коэффициенты Пирсона, Чупрова и Крамера, популярные в экономических, социологических и политологических исследованиях. В системе задание на расчет матриц сопряженности вводится в специальный бланк, который служит также для отображения обобщающих результатов расчетов. На основе этого задания рассчитываются и записываются в форме текстовых файлов одномерные и двумерные матрицы сопряженности для заданных подматриц.

В отличие от матриц сопряженности, выводимых в известной системе SPSS, здесь они выводятся *с текстовыми пояснениями на том языке, на котором сформированы классификационные и описательные шкалы, с констатацией того, обнаружена ли статистически-значимая связь на заданном уровне значимости*. Необходимо также отметить, что в системе "Эйдос" не используются табулированные теоретические значения критерия  $\chi^2$  для различных степеней свободы, а необходимые теоретические значения *непосредственно рассчитываются системой, причем со значительно большей точностью, чем они приведены в таблицах* (при этом численно берется обратный интеграл вероятностей).

**Режим "Просмотр профилей классов и признаков"**. Система "Эйдос" текущей версии 12.5 позволяет генерировать и выводить более 54 различных *видов* 2d & 3d графических форм, каждая из которых выводится в форме, определяемой задаваемыми в диалоге параметрами.

**Подсистема "Сервис"**. Реальная эксплуатация ни одной программной системы невозможна либо без тщательного сопровождения эксплуатации и без наличия в системе *развитых средств обеспечения надежности*

*эксплуатации*. В системе "Эйдос" для этого служит подсистема "Сервис" в которой:

- автоматически ведется архивирование баз данных;
- создаются отсутствующие базы данных и индексные массивы;
- распечатываются в текстовые файлы служебные формы, являющиеся основой содержательной информационной модели (базы абсолютных частот, условных процентных распределений и информативностей).

В подсистему "Сервис" входит также интеллектуальная дескрипторная информационно-поисковая система, автоматически генерирующая нечеткие дескрипторы и имеющая интерфейс нечетких запросов на любом естественном языке, использующем кириллицу или латиницу (т.е. не только русском). Отчет по результатам запроса содержит информационные объекты базы данных системы, ранжированные в порядке уменьшения степени соответствия запросу.

### **2.6.1.3 Технические характеристики и обеспечение эксплуатации системы "ЭЙДОС" (версии 12.5)**

#### ***3.1. Состав системы "Эйдос": базовая система, системы окружения и программные интерфейсы импорта данных***

Система "Эйдос" (текущей версии 12.5) включает базовую систему (система "Эйдос" в узком смысле слова), три системы окружения, а также ряд программных интерфейсов с внешними источниками данных:

- систему анализа и прогнозирования ситуация на фондовом рынке "Эйдос-фонд", разработанную совместно с Б.Х.Шульман [5, 17];
- систему комплексного психологического тестирования "Эйдос-Ψ", созданную совместно с С.Д.Некрасовым [2, 5, 18];
- систему типизации и идентификации социального статуса респондентов по их астрономическим показателям на момент рождения "Эйдос-астра", разработанную совместно с А.П.Труневым и В.Н.Шашиным [12, 19].

Системы окружения представляют собой развитие программные интерфейсы базовой системы "Эйдос" с внешними базами данных психологических тестов, биржевыми базами данных и базами данных социологической информации соответственно, а также выполняют ряд самостоятельных функций по предварительной обработке информации, визуализации результатов анализа и т.д. Кроме того, в саму базовую систему "Эйдос" включены программные интерфейсы, обеспечивающие формализацию предметной области и импорт данных из внешних источников данных различных стандартов (текстовых файлов и баз данных).

#### ***3.2. Отличия системы "Эйдос" от аналогов: экспертных и статистических систем***

От экспертных систем система "Эйдос" отличается тем, что для ее обучения от экспертов требуется лишь само их решение о принадлежности

того или иного объекта или его состояния к определенному классу, а не формулирование правил (продукций) или весовых коэффициентов, позволяющих прийти к такому решению (система генерирует их сама, т.е. автоматически). Дело в том, что часто эксперт не может или не хочет вербализовать, тем более формализовать свои способы принятия решений. Система "Эйдос" генерирует обобщенную таблицу решений непосредственно на основе эмпирических данных и их *оценки* экспертами.

От систем статистической обработки информации система "Эйдос" отличается прежде всего своими целями, которые состоят в следующем: формирование обобщенных образов исследуемых классов распознавания и признаков по данным обучающей выборки (т.е. обучение); исключение из системы признаков тех из них, которые оказались наименее ценными для решения задач системы; вывод информации по обобщенным образам классов распознавания и признаков в удобной для восприятия и анализа текстовой и графической форме (информационные или ранговые портреты); сравнение распознаваемых формальных описаний объектов с обобщенными образами классов распознавания (распознавание); сравнение обобщенных образов классов распознавания и признаков друг с другом (кластерно-конструктивный анализ); расчет частотных распределений классов распознавания и признаков, а также двумерных матриц сопряженности на основе критерия  $\chi^2$  и коэффициентов Пирсона, Чупрова и Крамера; результаты кластерно-конструктивного и информационного анализа выводятся в форме семантических сетей и когнитивных диаграмм. Система "Эйдос" в универсальной форме автоматизирует базовые когнитивные операции системного анализа, т.е. является инструментарием СК-анализа. Таким образом, система "Эйдос" выполняет за исследователя-аналитика ту работу, которую при использовании систем статистической обработки ему приходится выполнять вручную, что чаще всего просто невозможно при реальных размерностях данных. Поэтому система "Эйдос" и называется универсальной когнитивной аналитической системой.

### ***3.3. Некоторые количественные характеристики системы "Эйдос"***

Система "Эйдос" обеспечивает генерацию и запись в виде файлов более 54 видов 2d & 3d графических форм и 50 видов текстовых форм.

При применении системы в самых различных предметных областях обеспечивается достоверность распознавания обучающей выборки: на уровне 90% (интегральная валидность), которая существенно повышается после Парето-оптимизации системы признаков (т.е. после исключения признаков с низкой селективной силой), удаления из модели артефактов, а также классов и признаков, по которым недостаточно данных, разделения классов на типичные и нетипичные части. Система "Эйдос" версии 12.5 обеспечивает синтез модели, включающей десятки тысяч классов и признаков при неограниченном объеме обучающей выборки, причем признаки могут быть не только качественные (да/нет), но и количественные, т.е. числовые. В некоторых режимах анализа модели имеются ограничения на ее размерность,

которые на данном этапе преодолеваются путем снижения размерности модели. Реализована возможность разработки супертестов, в том числе интеграции стандартных тестов в свою среду, (при этом не играют роли известны ли методики интерпретации, т.е. "ключи" этих тестов). В системе имеется научная графика, обеспечивающая высокую степень наглядности, а также естественный словесный интерфейс при обучении Системы и запросах на распознавание.

Исходные тексты системы "Эйдос" и систем окружения "Эйдос-Ψ", "Эйдос-фонд" и «Эйдос-астра» в формате "Текст-DOS" имеют объем около 2.5 Мб; их распечатка 6-м шрифтом составляет около 800 страниц.

### ***3.4. Обеспечение эксплуатации системы "Эйдос"***

Универсальная когнитивная аналитическая система "Эйдос" представляет собой программную систему, и для ее эксплуатации, как и для эксплуатации любой программной системы, необходима определенная инфраструктура. Без инфраструктуры эксплуатации любая программная система остается лишь файлом, записанным на винчестере. В зависимости от масштабности решаемых задач управления и специфики предметной области данная структура может быть как довольно малочисленной, так и более развитой. Однако в любом случае ее основные функциональные и структурные характеристики остаются примерно одними и теми же. Кратко рассмотрим эту инфраструктуру на примере гипотетической организации, производящей определенные виды продукции.

**Основная цель:** обеспечивать информационную и аналитическую поддержку деятельности организации, направленную на производство запланированного объема продукции заданного качества, достижение высокой эффективности управления и устойчивого поступательного развития.

Данная основная цель предполагает выполнение информационных и аналитических работ с различными объектами деятельности, находящимися на различных структурных уровнях как самой организации, так и ее окружения: персональный уровень; уровень коллективов (подразделений); уровень организации в целом; окружающая среда (непосредственное, региональное, международное окружение). Для достижения основной цели для каждого класса объектов должны регулярно выполняться следующие работы: оценка (идентификация) текущего состояния с накоплением данных (мониторинг); прогнозирование развития (оперативное, тактическое и стратегическое); выработка рекомендаций по управлению. *Необходимо особо подчеркнуть, что основная цель может быть достигнута только при условии соблюдения вполне определенной наукоемкой технологии, основы которой изложены в данном исследовании.*

#### **Задачи, решаемые для достижения цели работы:**

**1. Мониторинг:** оценка и идентификация текущего (фактического, актуального) состояния объекта управления; накопление данных идентификации в базах данных в течение длительного времени.

**2. Анализ:** выявление причинно-следственных зависимостей путем анализа данных мониторинга.

**3. Прогнозирование:** оперативное, тактическое и стратегическое прогнозирование развития объекта управления и окружающей среды путем использования закономерностей, выявленных на этапе анализа данных мониторинга.

**4. Управление:** анализ взаимодействия объекта управления с окружающей средой и выработка рекомендаций по управлению.

Таким образом, по мнению автора, *управление является высшей, существующей на данный момент формой обработки информации.*

Для достижения основной цели и решения задач управления необходимо выполнять работы по следующим направлениям: регулярное получение исходной информации о состоянии объекта управления; обработка исходной информации на компьютерах; анализ обработанной информации, прогнозирование развития объекта управления, выработка рекомендаций по оказанию управляющих воздействий на объект управления; разработка и применение (или предоставление рекомендаций заказчикам) различных методов оказания управляющих воздействий на объект управления.

Для этого необходима определенная организационная структура: *научно-методический отдел* включает: научно-методический сектор; сектор разработки программного обеспечения; сектор внедрения и сопровождения программного обеспечения; сектор организационного и юридического обеспечения; *отдел мониторинга*: сектор исследования объекта управления; сектор по работе с независимыми экспертами; сектор по взаимодействию с поставляющими информацию организациями; сектор по анализу информации общего пользования; *отдел обработки информации*: сектор ввода исходной информации (операторы); сектор сетевых технологий и Internet; сектор внедрения, эксплуатации и сопровождения программных систем; сектор технического обслуживания компьютерной техники; сектор ведения архивов баз данных по проведенным исследованиям; *аналитический отдел* имеет структуру, обеспечивающую компетентный профессиональный анализ результатов обработки данных мониторинга по объектам, которые приняты для контроля и управления.

Для выполнения работ по этим направлениям необходимо определенное обеспечение деятельности: техническое, программное, информационное, организационное, юридическое и кадровое. Детально подобная структура и виды обеспечения ее деятельности описаны в работе [2].

#### **2.6.1.4. АСК-анализ, как технология синтеза и эксплуатации рефлексивных АСУ активными объектами**

Применение АСК-анализа обеспечивает выявление информационных зависимостей между факторами различной природы и будущими состояниями объекта управления, т.е. позволяет осуществить синтез

содержательной информационной модели, а фактически – осуществить синтез АСУ. Применение АСК-анализа в составе АСУ обеспечивает ее эксплуатацию в режиме непрерывной адаптации модели (на детерминистских этапах), а когда это необходимо (т.е. после прохождения точек бифуркации) – и ее нового синтеза.

Ниже приведена технология системы "Эйдос" как инструментария АСК-анализа:

**Шаг 1-й:** формализация предметной области (БКОСА-1): разработка описательных и классификационных шкал и градаций, необходимых для формализованного описания предметной области. Описательные шкалы описывают факторы различной природы, влияющие на поведение активных объектов управления (АОУ), а классификационные – все его будущие состояния, в том числе целевые.

**Шаг 2-й:** формирование обучающей выборки (БКОСА-2): информация о состоянии среды и объекта управления, а также вариантах управляющих воздействий поступает на вход системы. Работа по преобразованию этой информации в формализованный вид (т.е. кодирование) осуществляется специалистами, обслуживающими систему с использованием описательных и классификационных шкал. Вся эта информация представляется в виде специальных кодированных бланков, используемых также для ввода информации в компьютер. В результате ее формируется так называемая "обучающая выборка".

**Шаг 3-й:** обучение (БКОСА-3): обучающая выборка обрабатывается обучающим алгоритмом, на основе чего им формируются решающие правила (обобщенные образы состояний АОУ, отражающие весь спектр будущих возможных состояний объекта управления) и определяется ценность факторов для решения задач подсистем идентификации, мониторинга, прогнозирования и выработки управляющих воздействий.

**Шаг 4-й:** оптимизация (БКОСА-4): факторы, не имеющие особой прогностической ценности, корректным способом удаляются из системы. Данный процесс осуществляется с помощью итерационных алгоритмов, при этом обеспечивается выполнение ряда ограничений, таких как результирующая размерность пространства факторов, его информационная избыточность и т.п.

**Шаг 5-й:** верификация модели (БКОСА-5): выполняется после каждой адаптации или пересинтеза модели. На этом шаге обучающая выборка копируется в распознаваемую и осуществляется ее автоматическая классификация (в режиме распознавания). Затем рассчитываются так называемые внутренняя дифференциальная и интегральная валидности, характеризующие качество решающих правил.

**Шаг-6:** принятие решения об эксплуатации модели или ее пересинтезе. Если результаты верификации модели удовлетворяют разработчиков рефлексивной АСУ активными объектами (РАСУ АО), то она переводится из пилотного (экспериментального) режима, при котором управляющие решения генерировались, но не исполнялись, в режим экспериментальной

эксплуатации, а затем и опытно–производственной эксплуатации, когда они реально начинают использоваться для управления. Иначе, т.е. если же модель признана недостаточно адекватной, то необходимо осуществить ее пересинтез, начиная с шага 1. При этом используются следующие приемы: расширение набора факторов, т.к. значимые факторы могли не войти в модель; увеличение объема обучающей выборки, т.к. существенные примеры могли не войти в обучающую выборку; исключение артефактов, т.к. в модель могли вкрасться существенно искажающие ее не подтверждающиеся данные; пересмотр экспертных оценок и, если необходимость этого возникает систематически, то и переформирование экспертного совета, т.к. причиной этого могла быть некомпетентность экспертов; объединение некоторых классов, т.к. по ним недостаточно данных; разделение некоторых классов, т.к. по ним слишком высокая вариабельность объектов по признакам, и т.д.

**Шаг 7-й:** идентификация и прогнозирование состояния АОУ (БКОСА-7).

**Шаг 8-й:** оценка качества идентификации состояния АОУ. Если качество идентификации высокое, то состояние АОУ рассматривается как типовое, а значит, причинно-следственные взаимосвязи между факторами и будущими состояниями данного объекта управления считаются адекватно отраженными в модели и известными (т.е. если качество идентификации высокое, то считается, что объект относится к генеральной совокупности, по отношению к которой обучающая выборка репрезентативна). Поэтому в этом случае осуществляется переход на Шаг-9 (выработка управляющего воздействия и последующий анализ). Иначе – считается, что на вход системы идентификации попал объект, не относящийся к генеральной совокупности, адекватно представленной обучающей выборкой. Поэтому в этом случае информация о нем поступает на Шаг-13, начиная с которого запускается процедура пересинтеза модели, что приводит к расширению генеральной совокупности, представленной обучающей выборкой.

**Шаг 9-й:** выработка решения об управляющем воздействии (БКОСА-9) путем решения обратной задачи прогнозирования [5].

**Шаг 10-й** типологический анализ классов и факторов (БКОСА-10): кластерно-конструктивный и когнитивный анализ, семантические сети, когнитивные диаграммы состояний АОУ и факторов [5].

**Шаг 11-й:** многофакторное планирование и принятие решения о применении системы управляющих факторов (БКОСА-11).

**Шаг 12-й:** оценка адекватности принятого решения об управляющих воздействиях: если АОУ перешел в заданное целевое состояние, то осуществляется переход на вход адаптации содержательной информационной модели (Шаг-2): в подсистеме идентификации предусмотрен режим дополнения распознаваемой выборки к обучающей, чтобы в последующем, когда станут известны результаты управления, этой верифицированной (т.е. достоверной) оценочной информацией дополнить обучающую выборку и переформировать решающие правила (обучающая обратная связь). Иначе, т.е. если АОУ не перешел в заданное целевое

состояние, переход на вход пересинтеза модели (Шаг-1), при этом могут быть изменены и описательные, и классификационные (оценочные) шкалы, что позволяет качественно расширить сферу адекватного функционирования РАСУ АО.

*Шаг 13-й* (неформализованный поиск нетипового решения об управляющем воздействии и подготовка данных для пересинтеза модели, как в случае, если решения оказалось удачным, так и в противном случае).

**Таким образом,** предложена технология применения системы "Эйдос" как инструментария применения АСК-анализа, основанного на системной теории информации, ориентированной на синтез рефлексивных АСУ АО. В процессе эксплуатации системы "Эйдос" успешно решаются все задачи АСК-анализа: формирование обобщенных образов состояний АОУ на основе обучающей выборки (обучение); идентификация состояний АОУ на основе его параметров (распознавание); определение влияния входных параметров на перевод АОУ в различные будущие состояния (обратная задача прогнозирования); прогнозирование поведения АОУ в условиях полного отсутствия управляющих воздействий; прогнозирование поведения АОУ при различных вариантах многофакторных управляющих воздействий.

Кроме того, выявленные в результате работы рефлексивной АСУ причинно-следственные зависимости между факторами различной природы и будущими состояниями объекта управления позволяют, при условии неизменности этих закономерностей в течение достаточно длительного времени, построить АСУ с постоянной моделью классического типа.

### 2.6.1.5 Выводы

1. Создан программный и методический инструментарий СК-анализа – Универсальная когнитивная аналитическая система "Эйдос", рядом Свидетельств РосПатента РФ [14-23].

2. Система "Эйдос" на базе формализуемой когнитивной концепции успешно реализует предложенную семантическую информационную модель и алгоритмы базовых когнитивных операций системного анализа, и, таким образом, является специальным программным инструментарием для синтеза и эксплуатации приложений управления знаниями. Система "Эйдос" является эффективным инструментарием СК-анализа. В функциях и структуре системы "Эйдос" нашли воплощение фундаментальные закономерности познания, связанные с функциональной асимметрией мозга и знаковых систем [2, 5].

3. Технология синтеза и эксплуатации приложений системы "Эйдос", видеогаммы ее пользовательского интерфейса и технические характеристики (текущая версия системы "Эйдос-12.5" позволяет обрабатывать десятки тысяч будущих состояний активных объектов управления и градаций факторов).

4. Технология разработки приложения управления знаниями в системе "Эйдос" включает: когнитивную структуризацию и формализацию предметной области (подсистема "Словари"); синтез модели (подсистема



"Обучение"); оптимизацию модели (подсистема "Оптимизация"); верификацию модели (оценка степени адекватности, скорости сходимости и семантической устойчивости модели).

5. Технология эксплуатации приложения системы "Эйдос" в режиме адаптации и синтеза модели включает: идентификацию и прогнозирование (подсистема "Распознавание"); кластерно-конструктивный, семантический и когнитивный анализ (подсистема "Типология"); анализ достоверности, валидности, независимости (подсистема "Анализ"); средства и инструменты обеспечения надежности эксплуатации (подсистема "Сервис").

5. Система "Эйдос" является большой системой. Листинг ее исходных текстов (вместе с системами окружения "Эйдос-фонд", "Эйдос-Ψ" и «Эйдос-астра») 6-м шрифтом составляет около 800 страниц, в процессе работы система оперирует десятками баз данных (около 70).

6. Разработана инфраструктура применения системы "Эйдос", детализированы организационные, юридические, экономические, технические и другие аспекты информационной технологии применения данной системы для решения задач синтеза рефлексивных АСУ активными объектами и эксплуатации этих АСУ в режиме адаптации и периодического синтеза модели.

7. Разработана технология синтеза рефлексивных АСУ активными объектами и методики ее применения в конкретных предметных областях. Предложено рассматривать алгоритм СК-анализа, как алгоритм синтеза рефлексивных АСУ активными, а сам СК-анализ, как технологию синтеза рефлексивных АСУ активными объектами и их эксплуатации в режиме адаптации и периодического синтеза модели:

**шаг 1-й:** формализация предметной области (БКОСА-1);

**шаг 2-й:** формирование обучающей выборки (БКОСА-2);

**шаг 3-й:** обучение (БКОСА-3);

**шаг 4-й:** оптимизация (БКОСА-4);

**шаг 5-й:** верификация модели (БКОСА-5);

**шаг 6-й:** принятие решения об эксплуатации модели или ее пересинтезе;

**шаг 7-й:** идентификация и прогнозирование состояния АОУ (БКОСА-7);

**шаг 8-й:** оценка качества идентификации состояния АОУ;

**шаг 9-й:** выработка решения об управляющем воздействии (БКОСА-9);

**шаг 10-й:** типологический анализ классов и факторов (БКОСА-10);

**шаг 11-й:** многофакторное планирование и принятие решения о применении системы управляющих факторов (БКОСА-11);

**шаг 12-й:** оценка адекватности принятого решения об управляющих воздействиях;

**шаг 13-й:** (неформализованный поиск нетипового решения об управляющем воздействии и подготовка данных для пересинтеза модели, причем как в случае, если решение оказалось удачным, так и в противном случае).

Постановка и программная реализация системы «Эйдос» универсальна, т.е. не зависит от предметной области, потому она может быть эффективно применена в самых различных предметных областях.

### 2.6.1.6. Перспективы развития системы «Эйдос»

Основную перспективу развития Универсальной когнитивной аналитической системы «Эйдос» автор видит в разработке многоязычной (прежде всего русской и английской) Internet версии (*система «Эйдос-net»*), работающей в локальной сети Host-компьютера (на кластере), к которой был бы обеспечен доступ с любого компьютера, находящегося в Internet.

Основные отличия системы «Эйдос-net» от локальной версии состоят в наличии диспетчера приложений и нескольких уровней авторизации пользователей. Предполагается также пересмотреть структуру диалога системы, а также снять ограничения на размерности обрабатываемых моделей, имеющиеся в текущей версии. Подробнее перспективы развития СК-анализа и системы «Эйдос» описаны в 7-й главе работы [5]<sup>119</sup>.

*Диспетчер приложений* обеспечивает создание или выбор текущего приложения в пределах компетенции пользователя, определяемого уровнем авторизации. Предполагается несколько уровней *авторизации*:

Таблица 6.1 - Уровни авторизации и права пользователей системы «Эйдос-Net»

| № | Статус пользователя      | Права пользователя                                                                                                                            | Источник полномочий                          |
|---|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1 | Администратор приложения | Создание и удаление своих приложений и в них пересинтез моделей; решение задач прогнозирования и поддержки принятия решений; исследование СИМ | Модератор: автор сайта – системы «Эйдос-net» |
| 2 | Специалист               | Адаптация моделей, в которых он авторизован, решение в них задач прогнозирования и поддержки принятия решений                                 | Модератор: администратор приложения          |
| 3 | Пользователь             | Решение задач прогнозирования и поддержки принятия решений в приложениях, в которых он авторизован администратор приложения                   | Модератор: администратор приложения          |
| 4 | Ученик                   | Просмотр системы меню и публикаций по системе, возможность осваивать лабораторные работы                                                      | Немодерируемый доступ                        |

В настоящее время автор работает над реализацией этого проекта.

Но необходимо отметить, что и сегодня имеется техническая возможность:

<sup>119</sup> <http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos02/7.htm>

– *одновременной* интерактивной on-line *демонстрации* текущей «локальной» версии системы «Эйдос» на любом количестве компьютеров, подключенных к Internet;

– удаленной инсталляции системы «Эйдос» для дальнейшего использования на этих удаленных компьютерах;

– удаленного использования системы «Эйдос» на любых компьютерах, на которых она проинсталлирована.

Для обеспечения всех этих возможностей может быть использована, например, программа TeamViewer (<http://www.teamviewer.com/>). Эта программа, в отличие от RemoteAdmin (Radmin) и NetOP, обеспечивает доступ к удаленным компьютерам, в т.ч. и не имеющим внешних IP-адресов и находящимся за брандмауэром, прокси-сервером и другими экранами.

В режиме демонстрации на удаленных компьютерах отображается рабочий стол главного компьютера, с которого осуществляется демонстрация, и изображение с его монитора, но *нет никакого другого доступа к этим удаленным компьютерам*. При этом с главного компьютера есть возможность аудио- и видео-общения с аудиторией около удаленных компьютеров, т.е. можно комментировать презентацию, а также слышать вопросы слушателей и отвечать на них, т.е. автор может вести дистанционное *преподавание* с целью освоения системы «Эйдос», например, по лекционным и лабораторным курсам [6, 8, 9]. Удаленную инсталляцию системы «Эйдос» для дальнейшего использования на удаленных компьютерах осуществляет автор. Удаленное использование системы «Эйдос» на любых компьютерах, на которых она проинсталлирована, осуществляют те, кому автором предоставлено такое право.

### 2.6.2 Новая версия системы «Эйдос-Х++»<sup>120</sup>

Универсальная когнитивная аналитическая система "Эйдос" является отечественным лицензионным программным продуктом, который в разные годы реализовался на различных языках программирования на компьютерах различных платформ [1]. С 1992 года существует и версия системы «Эйдос» для IBM-совместимых персональных компьютеров. В качестве инструментальных средств программирования использовались следующие лицензионные средства, официально приобретенные Научно-производственным предприятием «Эйдос»<sup>121</sup>: CLIPPER 5.01 Rus, № CRX

<sup>120</sup> Источник: Луценко Е.В. Универсальная когнитивная аналитическая система «Эйдос-Х++» / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №09(083). С. 328 – 356. – IDA [article ID]: 0831209025. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/09/pdf/25.pdf>. 1,812

у.п.л.

<sup>121</sup> Учредителем и директором которого был автор

202874; Tools-II Rus № 200932; BiGraph 3.01r1 № 247. Выбор этих средств в то время был совершенно оправданным и обоснованным, т.к. тогда эта система программирования несопоставимо превосходила все остальные, существовавшие в то время, по своим возможностям. В основе системы «Эйдос» использовались математические модели и алгоритмы, основанные на теории информации, впервые в полной форме описанные в 1993 году [2]. В 1994 году автором были получен первый в Краснодарском крае, а возможно и один из первых в России, патент на систему искусственного интеллекта [3]. С тех пор данная версия системы непрерывно совершенствовалась на протяжении почти 20 лет вплоть до весны 2012 года, когда началась непосредственная разработка качественно новой версии. С применением этой системы было решено большое количество задач в различных предметных областях, чему существенно способствовало то, что система «Эйдос» изначально разрабатывалась в постановке, не зависящей от предметной области. Поэтому в 2003 году ей было дано название: Универсальная когнитивная аналитическая система "Эйдос", подчеркивающее это важное обстоятельство [4].

По результатам проведенных с помощью системы исследований на момент написания данного учебного пособия издано 21 научная монография и учебных пособий с грифами УМО и министерства [5-21], сотни статей, в т.ч. в изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ - 197, получено 27 патентов РФ, защищено 5 докторских и 7 кандидатских диссертаций по экономическим, техническим, психологическим и медицинским наукам<sup>122</sup>.

В состав системы «Эйдос» входила подсистема \_152 (в новой версии режим 2.3.2.2), содержащая ряд стандартных программных интерфейсов с внешними базами данных различных стандартов: текстовых, баз данных (БД) и графических, расширяющих сферу ее применения. Некоторые из подобных интерфейсов при своем развитии превратились в системы окружения: "Эйдос-фонд" [9, 22], "Эйдос-пси" [6, 23] и «Эйдос-астра» [16, 21, 24, 25] (рис. 1):

---

<sup>122</sup> <http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>

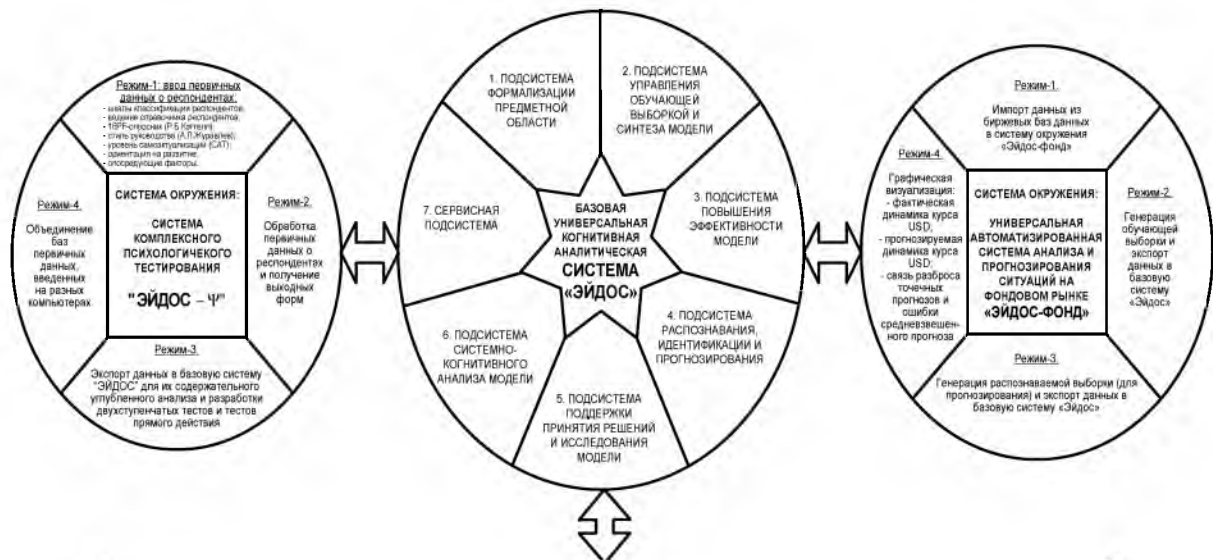


Рисунок 13 Базовая система «Эйдос» и системы ее окружения [26]

Таким образом, по мнению автора можно сделать обоснованный вывод о том, что система «Эйдос» является большой и довольно эффективной системой. Однако она обладала и рядом недостатков, среди которых в первую очередь необходимо отметить следующие:

1. Система была разработана за несколько лет до создания операционной системы MS Windows-95, и, естественно, не обладала стандартным для MS Windows так называемым GUI-интерфейсом (сокр. от англ. Graphical user interface).

2. Она работала в основной памяти компьютера, имеющей размер 640 Кб, и не могла использовать внешнюю память (Extend Memory). Поэтому система «Эйдос» имела модульную оверлейную структуру и использовала

диспетчер памяти (QEMM). Но со временем система настолько увеличилась, что и эта технология уже не обеспечивала ее развитие и пришлось разбить систему на десятки отдельно загружаемых модулей, связанных только по базам данных.

3. Система не могла работать в защищенном режиме и задействовать swapping-технологии MS Windows для использования внешней памяти в качестве оперативной. Внешняя память использовалась системой «Эйдос» только для кеширования обращения к внешней памяти и до, и после создания системы MS Windows.

4. В системе не было возможности интеграции с Windows и Internet-приложениями, например организации работы с базами данных, находящимися на Internet-сервере, хотя сам язык программирования, на котором она была написана, в принципе это позволял.

5. Размерности баз знаний были ограничены: 4000 классов на 4000 градаций факторов, размеры самих файлов баз знаний и баз данных системы также были ограничены 4 гигабайтами.

6. Система работала с интеллектуальным приложением, находящимся в текущей директории с исполнимыми модулями системы, т.е. в ней не было диспетчера приложений.

7. В системе не было подсистемы администрирования самой системы, а также пользователей и приложений.

8. Но самое главное, что система была 16-разрядным приложением и работала под Windows в режиме эмуляции MS DOS. Это было нормально во всех версиях системы MS Windows до 7. Под MS Windows 7 система «Эйдос» работала с использованием виртуальной машины, эмулирующей MS Windows XP.

Особо отметим, что отсутствие графики не являлось недостатком системы «Эйдос», т.к. в ней изначально использовалась мощная графическая библиотека (общая для CLIPPER, Pascal и C++) и было реализовано большое количество (более 60) различных графических форм, многие из которых не имеют аналогов в MS Windows и других системах и все это было в системе за несколько лет до создания MS Windows.

Наличие в системе перечисленных выше недостатков, а также некоторых других, более мелких, вызывало настоятельную потребность создания качественно новой версии системы «Эйдос», основывающейся на современной системе программирования, позволяющей решить все эти проблемы. Такая качественно-новая версия системы была задумана очень давно (около 10 лет назад) и о ней писалось в частности в работах [1, 9] и других, размещенных на сайте автора [27]. Однако по ряду причин создание новой версии затягивалось, хотя такие попытки неоднократно предпринимались автором на протяжении ряда лет и в разных системах программирования, в частности на Alaska xBase++, Delphi for PHP<sup>123</sup> и на Java. Наконец к лету 2012 года благодаря помощи зав.кафедрой

---

<sup>123</sup> <http://www.delphiforphp.ru/> [http://ru.wikipedia.org/wiki/Delphi\\_for\\_PHP](http://ru.wikipedia.org/wiki/Delphi_for_PHP)



компьютерных технологий и систем Заслуженного деятеля науки РФ профессора В.И.Лойко и проректора по науке профессора Ю.П.Федулова (ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет») удалось приобрести лицензионное программное обеспечение, являющееся современным развитием того, на котором была написана система «Эйдос»: Alaska Xbase++ (R) Version 1.90.355 SL1, TOOLS III, eXPress++ (C) Version 1.9 Build 255, Advantage Database Server (ADS) 10.0.

В настоящее время автором создана и запатентована [28] качественно новая версия системы «Эйдос», получившая название: Универсальная когнитивная аналитическая система «Эйдос-Х++»<sup>124</sup>. Конечно, в ней пока реализованы в основном базовые подсистемы и режимы, но она уже является полнофункциональной системой и непрерывно развивается.

В новой версии системы сняты все вышеперечисленные и следующие ограничения:

- на количество объектов обучающей и распознаваемой выборки (в базах данных заголовков и базах данных признаков);
- на размерность баз данных классов, признаков, на количество градаций описательных шкал в одной шкале;
- на количество классов, к которым относится объект обучающей и распознаваемой выборки;
- на размерность по признакам баз данных абсолютных частот, условных и безусловных процентных распределений и баз знаний;
- на размерность по классам баз данных абсолютных частот, условных и безусловных процентных распределений и баз знаний с ADS;
- вместо ранее используемых 4-х моделей знаний в новой версии используется 7, кроме того есть возможность использовать 3 статистические модели как модели знаний и сравнивать результаты их использования;
- новая версия системы «Эйдос» имеет стандартный GUI-интерфейс; режимы системного администратора, авторизацию и диспетчер приложений; возможность работы с группами приложений, как с одним приложением (как в системе Эйдос-астра);
- кроме локальной версии предусматривается возможность работы в локальной сети и через Internet;
- сняты проблемы с ограниченным использованием возможностей современных процессоров и операционных систем. Локальная версия системы «Эйдос-Х++» является 32-разрядным приложением и нормально работает во всех версиях MS Window, включая 7, но использует лишь одно ядро процессора и не более 2 Гб оперативной памяти. Однако с Advantage Database Server (ADS) эти ограничения снимаются, и она становится практически полноценным 64-разрядным приложением, работающим с базами данных размером до 16000 Гбайт<sup>125</sup>.

---

<sup>124</sup> «Х++» в названии новой версии системы «Эйдос» – это дань используемому инструментальному программному обеспечению: Alaska Xbase++ (R) Version 1.90.355 SL1, TOOLS III, eXPress++ (C) Version 1.9 Build 255, Advantage Database Server (ADS) 10.0.

<sup>125</sup> Имеется бесплатная локальная версия ADS: <http://www.softscribe.ru>

Универсальная когнитивная аналитическая система "Эйдос-Х++" является современным инструментарием системно-когнитивного анализа [9, 29], разработана в универсальной постановке, не зависящей от предметной области, и обеспечивает:

- формализацию предметной области;
- многопараметрическую типизацию, синтез, повышение качества и верификацию 3 статистических моделей и 7 моделей знаний предметной области;
- распознавание (системную идентификацию и прогнозирование);
- поддержку принятия решений и исследование модели, в т.ч.: дивизивную и агломеративную когнитивную кластеризацию, конструктивный и СК-анализ моделей: семантические и нейронные сети, когнитивные диаграммы, классические и интегральные когнитивные карты.

Есть в системе и ряд других новых возможностей. Переосмыслена иерархическая структура системы, учтен значительный опыт проведения научных исследований и преподавания ряда дисциплин с применением системы «Эйдос» и систем окружения<sup>126</sup>. Это нашло отражение в структуре системы и дереве диалога, приведенных в таблице 1:

Таблица 6.3 – Структура и функции универсальной когнитивной аналитической системы "Эйдос-Х++" версии от 28.03.2015(показана глубина диалога главного меню, т.е. без меню, кнопок и переключателей на экранных формах)

### **1. Администрирование, Подсистема администрирования**

1.1. Авторизация, F1\_1(). Авторизация сисадмина, администратора приложения или пользователя.

1.2. Регистрация администратора приложения, F1(). Регистрация и удаление регистрации администраторов приложений и задание паролей пользователей. Этот режим доступен только системному администратору и администраторам приложений.

1.3. Диспетчер приложений, F1\_3(). Это подсистема администрирования приложений. Она предназначена для создания новых приложений, как пустых, так и на основе учебных примеров (лабораторных работ), имеющих в системе, а также для выбора приложения для работы из уже имеющихся и удаления приложения. Выбор приложения для работы осуществляется путем отметки его любым символом. Удалять любые приложения разрешается только сисадмину, а Администратору приложений - только те, которые он сам создал.

1.4. Выбор режима использования системы, F1\_4(). Монопольный или многопользовательский (задается при инсталляции системы, но может быть изменен когда угодно сисадмином).

---

<sup>126</sup> В частности: Методы принятия решений, Интеллектуальные информационные системы, Представление знаний в информационных системах, Управление знаниями (магистратура), Основы искусственного интеллекта, Системно-когнитивный анализ, Информационные технологии управления бизнес-процессами / Корпоративные информационные системы (магистратура), Система искусственного интеллекта «Эйдос», Моделирование социально-экономических систем, Введение в нейроматику и методы нейронных сетей (магистратура), Интеллектуальные и нейросетевые технологии в образовании (магистратура), Функционально-стоимостной анализ системы и технологии управления персоналом (магистратура), Информационные системы в экономике, Математическое моделирование



1.5. Задание путей на папки с группами приложений, F1\_5(). Папки с различными группами приложениями могут быть на локальном компьютере, в локальной сети или в Internet. Пути на них задаются сисадмином при инсталляции системы и могут быть изменены им когда угодно. Один из этих путей, а именно первый из отмеченный специальных символов, считается текущим и используется при СОЗДАНИИ приложений в диспетчере приложений 1.3, а в последующем при запуске приложений на исполнение пути берутся уже из БД диспетчера приложений.

1.6. Задание цветовой схемы главного меню, F1\_6(). Задается по умолчанию если в папке с системой нет файла: ColorSch.arx при инсталляции системы, но может быть изменена когда угодно сисадмином.

1.7. Задание размера главного окна в пикселях, F1\_7(). Задается по умолчанию 1024 x 769 если в папке с системой нет файла: \_MainWind.arx при инсталляции системы, но может быть изменена когда угодно сисадмином.

1.8. Задание градиентных фонов главного окна, F1\_8(). Градиентные фоны главного окна задаются по умолчанию при инсталляции системы, но могут быть изменены когда угодно сисадмином.

1.9. Прописывание путей по фактическому положению, F1\_9(). Доступно только сисадмину. Определяет фактическое месторасположение системы и приложений и прописывает пути на них в БД: PathGrAp.DBF и Appls.dbf, а также восстанавливает имена приложений в Appls.dbf на данные им при их создании.

1.10. Инсталляция ActiveX на данном компьютере, F1\_10(). Доступно только сисадмину. Устанавливает ActiveX: RMChart.ocx, необходимый для работы профессиональной графики под MS Windows 7 и выше. При сообщении об ошибке надо в окне: <Панель управления - Учетные записи пользователей и семейная безопасность - Учетные записи пользователей - Изменение параметров контроля учетных записей> перевести ползунок до конца вниз на: "Никогда не уведомлять.." и перезагрузить компьютер.

1.11. Локализация и инициализация (сброс) системы, F1\_11(). Доступно только сисадмину. Прописывает все пути по фактическому месторасположению системы, пересоздает общесистемные базы данных, удаляет все приложения и всех пользователей. Определяет фактическое месторасположение системы и приложений, удаляет все директории приложений с поддиректориями и всеми файлами в них, а затем прописывает все пути на них по фактическому месторасположению, т.е. пересоздает и переиндексирует БД: PathGrAp.DBF, Appls.dbf и Users.dbf.

## **2. Формализация предметной области Разработка классификационных и описательных шкал и градаций и формирование обучающей выборки.**

2.1. Классификационные шкалы и градации, F2\_1("Close"). Ручной ввод-корректировка классификационных шкал и градаций.

2.2. Описательные шкалы и градации, F2("Close"). Ручной ввод-корректировка описательных шкал и градаций.

2.3. Ввод обучающей выборки.

2.3.1. Ручной ввод-корректировка обучающей выборки, F2\_3\_1().

2.3.2. Программные интерфейсы с внешними базами данных, Автоматизированная формализация предметной области.

2.3.2.1. Импорт данных из текстовых файлов, F2\_3\_1(). Универсальный программный интерфейс ввода данных из TXT, DOC и Internet (HTML) файлов неограниченного объема. Атрибуция текстов, АСК-анализ мемов.

2.3.2.2. Универсальный программный интерфейс импорта данных в систему, F2\_3(""). Режим представляет собой УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ИМПОРТА ДАННЫХ В СИСТЕМУ "ЭЙДОС-Х". Данный программный интерфейс обеспечивает автоматическое формирование классификационных и описательных шкал и градаций и обучающей

выборки на основе XLS, XLSX или DBF-файла с исходными данными стандарта, описанного в Help режима. Кроме того он обеспечивает автоматический ввод распознаваемой выборки из внешней базы данных. В этом режиме может быть до 1000000 объектов обучающей выборки до 1500 шкал.

2.3.2.3. Импорт данных из транспонированных внешних баз данных, F2\_3\_3(). Режим представляет собой ПРОГРАММНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ИМПОРТА ДАННЫХ В СИСТЕМУ "ЭЙДОС-Х". Данный программный интерфейс обеспечивает автоматическое формирование классификационных и описательных шкал и градаций и обучающей выборки на основе XLS, XLSX или DBF-файла с исходными данными стандарта, описанного в Help режима стандарта, представляющего собой ТРАНСПОНИРОВАННЫЙ файл стандарта режима 2.3.2.2. Кроме того он обеспечивает автоматический ввод распознаваемой выборки из внешней базы данных. В этом режиме может быть до 1000000 шкал и до 1500 объектов обучающей выборки.

2.3.2.4. Интерфейс ввода сканированных изображений в систему "Эйдос" \_3, Razrab(). Данный режим обеспечивает кодирование и ввод в систему "Эйдос" сканированных изображений и формирование файла исходных данных "Inp\_data.xls", в котором каждое изображение представлено строкой, для их импорта в систему в режиме 2.3.2.2

2.3.2.5. Транспонирование файлов исходных данных \_3F2\_3\_5(). Данный режим обеспечивает транспонирование базы данных Inp\_data.xls и ее запись в виде файла Out\_transp.xls

2.3.2.6. Объединение нескольких файлов исходных данных в один \_3F2\_3\_6(). Данный режим обеспечивает объединение нескольких одинаковых по структуре баз данных с именами вида: "Input####.xls", где: "####" - номер файла вида: 0001,0002,...,9999, в один файл с именем: "Add\_data.xls".

2.3.3. Управление обучающей выборкой.

2.3.3.1. Параметрическое задание объектов для обработки, Razrab().

2.3.3.2. Статистическая характеристика, ручной ремонт, Razrab().

2.3.3.3. Автоматический ремонт обучающей выборки, Razrab().

2.3.4. Декодирование сочетаний признаков в обучающей выборке, Razrab().

2.4. Просмотр эвентологических баз данных, F2\_4(). Просмотр эвентологических баз данных (баз событий). в которых исходные данные закодированы с помощью классификационных и описательных шкал и градаций и представлены в форме кодов событий, между которыми существуют причинно-следственные связи.

**3. Синтез, верификация и улучшение модели Создание модели, повышение ее качества и оценка достоверности.**

3.1. Формирование базы абсолютных частот, F3\_1(.T., 0, 0, 0, .T., ""). Загрузка по очереди описаний всех объектов обучающей выборки и расчет количества встреч различных сочетаний: Принадлежность объекта к j-му классу - наличие у него i-го признака.

3.2. Расчет процентных распределений, F3(.T., 0, 0, 0, .T., ""). Расчет условных и безусловных процентных распределений

3.3. Расчет заданных из 7 моделей знаний, F3\_3(.T., 0, 0, 0, .T., "") Inf1~Prc1, Inf2~Prc2, Inf3-хи-квадрат, Inf4-roi~Prc1, Inf5-roi~Prc2, Inf6-Dp~Prc1, Inf7-Dp~Prc2.

3.4. Автоматическое выполнение режимов 1-2-3, F3\_4(.T., 0, 0, 0, .T., ""). По очереди исполняются режимы: 3.1., 3.2. и 3.3. для заданных стат.моделей и моделей знаний и затем заданная делается текущей.

3.5. Синтез и верификация заданных из 10 моделей, F3\_5(.T.). Оценивается достоверность (адекватность) заданных стат.моделей и моделей знаний. Для этого осуществляется синтез заданных моделей, обучающая выборка копируется в распознаваемую и в каждой заданной модели проводится распознавание с использованием

двух интегральных критериев, подсчитывается количество верно идентифицированных и не идентифицированных, ошибочно идентифицированных и не идентифицированных объектов (ошибки 1-го и 2-го рода, как в, F-критерии).

3.6. Синтез и верификация заданной группы моделей, Razrab(). В различных приложениях текущей группы приложений создаются и верифицируются модели: Abs, Prc1, Prc2, Inf1~Prc1, Inf2~Prc2, Inf3-хи-квадрат, Inf4-roi~Prc1, Inf5-roi~Prc2, Inf6-Dp~Prc1, Inf7-Dp~Prc2 с фиксированными и адаптивными интервалами со сценариями и без и для каждого класса определяется модель, в которой его идентификация осуществляется наиболее достоверно.

3.7. Повышение качества модели.

3.7.1. Поиск и удаление артефактов (робастная процедура), F3\_7\_1(). Строится частотное распределение абсолютных частот встреч признаков в классах по матрице сопряженности Abs.dbf и пользователю предоставляется возможность удалить редко встречающиеся факты (сочетания), как случайные выбросы или артефакты. Для работы профессиональной графики нужна MS Windows 7 или выше.

3.7.2. Значимость классификационных шкал, Razrab(). В данном режиме классификационные шкалы ранжируются в порядке убывания значимости, т.е. средней значимости их градаций, т.е. классов.

3.7.3. Значимость градаций классификационных шкал (классов), Razrab(). В данном режиме все градации классификационных шкал (классы) ранжируются в порядке убывания значимости, т.е. варибельности значений частных критериев статистических баз и баз знаний.

3.7.4. Значимость описательных шкал, F3\_7\_4(). В данном режиме описательные шкалы ранжируются в порядке убывания значимости, т.е. средней значимости их градаций, т.е. признаков.

3.7.5. Значимость градаций описательных шкал (признаков), F3\_7\_5(). В данном режиме все градации описательных шкал (признаки) ранжируются в порядке убывания значимости, т.е. варибельности значений частных критериев статистических баз и баз знаний.

3.7.6. Разделение классов на типичную и нетипичную части, Razrab(). Итерационный процесс при котором на основе объектов обучающей выборки, не идентифицированных с классами, к которым они относятся, создаются классы с теми же наименованиями + уровень итерации.

3.7.7. Генерация подсистем классов и докод.об.и расп.выб., F3\_7\_7(). На основе сочетания классов по 2, 3, N формируются подсистемы классов, которые добавляются в качестве градаций в классификационные шкалы подсистем классов и в объекты обучающей и распознаваемой выборки.

3.7.8. Генерация подсистем признаков и докод.об.и расп.выб., F3\_7\_8(). На основе сочетания признаков по 2, 3, N формируются подсистемы признаков, которые добавляются в качестве градаций в описательные шкалы подсистем признаков и в объекты обучающей и распознаваемой выборки.

**4. Решение задач с применением модели. Применение модели для решения задач идентификации (распознавания), прогнозирования и поддержки принятия решений (обратная задача прогнозирования), а также для исследования моделируемой предметной области путем исследования ее модели.**

4.1. Идентификация и прогнозирование.

4.1.1. Ручной ввод-корректировка распознаваемой выборки, F4\_1\_1().

4.1.2. Пакетное распознавание в текущей модели, F4\_1(0.,T.,"4\_1"). Распознаются по очереди все объекты распознаваемой выборки в стат.модели или базе знаний, заданной текущей в режиме 3.3 или 5.6.

4.1.3. Вывод результатов распознавания.

4.1.3.1. Подробно наглядно: "Объект - классы", F4\_1(). Визуализация результатов распознавания в подробной наглядной форме в отношении: "Один объект - много классов" с двумя интегральными критериями сходства между конкретным образом распознаваемого объекта и обобщенными образами классов: "Семантический резонанс знаний" и "Сумма знаний".

4.1.3.2. Подробно наглядно: "Класс - объекты", F4(). Визуализация результатов распознавания в подробной наглядной форме в отношении: "Один класс - много объектов" с двумя интегральными критериями сходства между конкретным образом распознаваемого объекта и обобщенными образами классов: "Семантический резонанс знаний" и "Сумма знаний".

4.1.3.3. Итоги наглядно: "Объект - класс", F4\_3(). Отображение итоговых результатов распознавания в наглядной форме: отображаются пары: "Объект-класс" у которых наибольшее сходство по двум интегральным критериям сходства: "Семантический резонанс знаний" и "Сумма знаний". Приводится информация о фактической принадлежности объекта к классу.

4.1.3.4. Итоги наглядно: "Класс - объект", F4\_4(). Отображение итоговых результатов распознавания в наглядной форме: отображаются пары: "Класс-объект" у которых наибольшее сходство по двум интегральным критериям сходства: "Семантический резонанс знаний" и "Сумма знаний". Приводится информация о фактической принадлежности объекта к классу.

4.1.3.5. Подробно сжато: "Объекты - классы", F4\_5(). В подробной сжатой (числовой) форме приводится информация об уровне сходства всех объектов со всеми классами по двум интегральным критериям сходства: "Семантический резонанс знаний" и "Сумма знаний", а также о фактической принадлежности объекта к классу.

4.1.3.6. Обобщ.форма по достов.моделей при разных интегральных крит., F4\_6(). Отображаются обобщенные результаты измерения достоверности идентификации по всем моделям и интегральным критериям из БД: Dost\_mod.DBF.

4.1.3.7. Обобщ.стат.анализ результатов идент. по моделям и инт.крит., F4\_7(). Отображаются результаты обобщенного стат.анализа достоверности идентификации по всем моделям и интегральным критериям из БД: VerModALL.dbf.

4.1.3.8. Стат.анализ результ. идент. по классам, моделям и инт.крит., F4\_8(). Отображаются результаты стат.анализа достоверности идентификации по всем классам, моделям и интегральным критериям из БД: VerModCls.dbf.

4.1.3.9. Распределения уровн.сходства при разных моделях и инт.крит., F4\_9(). Отображаются частотные распределения уровней сходства верно и ошибочно идентифицированных и неидентифицированных объектов при разных моделях и интегральных критериях из БД: DostRasp.dbf.

4.1.3.10. Достоверность идент. классов при разных моделях и инт.крит., F4\_10(). Отображается достоверность идентификации объектов по классам при разных моделях (т.е. разных частных критериях) и при разных интегральных критериях из БД: Dost\_cls.dbf.

4.1.4. Пакетное распознавание в заданной группе моделей, Razrab(). Распознаются по очереди все объекты распознаваемой выборки в стат.модели или базе знаний, заданной текущей, в всех моделях заданной группы моделей.

4.1.5. Декодирование сочетаний признаков в распознаваемой выборке, Razrab().

4.1.6. Назначения объектов на классы (задача о назначениях). Функционально-стоимостной анализ в управлении персоналом. Задание ограничений на ресурсы по классам. Ввод затрат на объекты. Назначения объектов на классы (LC-алгоритм и RND-алгоритм). Сравнение эффективности LC и RND алгоритмов.

4.1.7. Интерактивная идентификация - последовательный анализ Вальда, Razrab().

4.1.8. Мультираспознавание (пакетное распознавание во всех моделях), Razrab(). При идентификации объекта распознаваемой выборки с каждым классом он сравнивается

в той модели, в которой этот класс распознается наиболее достоверно, как в системе "Эйдос-астра".

#### 4.2. Типология классов и принятие решений.

4.2.1. Информационные портреты классов, F4\_1(). Решение обратной задачи прогнозирования: выработка управляющих решений. Если при прогнозировании на основе значений факторов оценивается в какое будущее состояние перейдет объект управления, то при решении обратной задачи, наоборот, по заданному целевому будущему состоянию объекта управления определяется такая система значений факторов, которая в наибольшей степени обуславливает переход в это состояние.

#### 4.2.2. Кластерный и конструктивный анализ классов.

##### 4.2.2.1. Расчет матриц сходства, кластеров и конструкторов, F4\_1().

4.2.2.2. Результаты кластерно-конструктивного анализа, F4(). Состояния, соответствующие классам, расположенные около одного полюса конструктора, достижимы одновременно, т.к. имеют сходную систему детерминации, а находящиеся около противоположных полюсов конструктора являются альтернативными, т.е. одновременно недостижимы.

##### 4.2.2.3. Агломеративная древовидная кластеризация классов, Razrab().

Кластеризация, путем объединения классов.

4.2.2.4. Дивизивная древовидная кластеризация классов, Razrab(). Кластеризация, путем разделения классов на типичную и нетипичную части.

4.2.3. Когнитивные диаграммы классов, F4\_3(). Данный режим показывает в наглядной графической форме какими признаками сходны и какими отличаются друг от друга заданные классы.

#### 4.3. Типологический анализ признаков

4.3.1. Информационные портреты признаков, F4\_3\_1(). Семантический (смысловой) портрет признака или значения фактора, т.е. количественная характеристика силы и направления его влияния на поведение объекта управления

#### 4.3.2. Кластерный и конструктивный анализ признаков.

##### 4.3.2.1. Расчет матриц сходства, кластеров и конструкторов, F4\_3\_1().

4.3.2.2. Результаты кластерно-конструктивного анализа, F4\_3(). Признаки или градации факторов, расположенные около одного полюса конструктора, оказывают сходное влияние на объект управления, т.е. на его принадлежность к классам или его переход в состояния, соответствующие классам и могут быть заменены одни другими, а находящиеся около противоположных полюсов конструктора оказывают сильно отличающееся влияние на объект управления и не могут быть заменены одни другими.

##### 4.3.2.3. Агломеративная древовидная кластеризация признаков, Razrab().

Кластеризация, путем объединения признаков.

4.3.3. Когнитивные диаграммы признаков, F4\_3\_3(). Данный режим показывает в наглядной графической форме какими классами сходны и какими отличаются друг от друга заданные признаки.

#### 4.3.4. Восстановление значений функций по признакам аргумента

##### 4.3.4.1. Восстановление значений и визуализация 1d-функций, Razrab().

##### 4.3.4.2. Восстановление значений и визуализация 2d-функций, Razrab().

##### 4.3.4.3. Преобразование 2d-матрицы в 1d-таблицу с признаками точек, Razrab().

##### 4.3.4.4. Объединение многих БД: Inp\_0001.dbf и т.д. в Inp\_data.dbf, Razrab().

##### 4.3.4.5. Помощь по подсистеме (требования к исходным данным), Razrab().

#### 4.4. Исследование предметной области путем исследования ее модели.

4.4.1. Оценка достоверности обучающей выборки, Razrab(). Выявление объектов с нарушенными корреляциями между классами и признаками. Выявление очень сходных друг с другом объектов обучающей выборки.

4.4.2. Оценка достоверности распознаваемой выборки, Razrab(). Выявление очень сходных друг с другом объектов распознаваемой выборки.

4.4.3. Измерение адекватности 3 стат.моделей и 7 моделей знаний, Razrab(). Любой заданной или всех.

4.4.4. Измерение сходимости и устойчивости 10 моделей, Razrab().

4.4.5. Зависимость достоверности моделей от объема обучающей выборки, Razrab().

4.4.6. Измерение независимости классов и признаков (анализ хи-квадрат), Razrab().

4.4.7. Графические профили классов и признаков, Razrab().

4.4.8. Количественный SWOT-анализ классов средствами АСК-анализа, F4\_4\_8(). АСК-анализ обеспечивает построение SWOT-матрицы (модели) для заданного класса с указанием силы влияния способствующих и препятствующих факторов непосредственно на основе эмпирических данных и поэтому является инструментом автоматизированного количественного SWOT-анализа (прямая задача SWOT-анализа). Классы интерпретируются как целевые и нежелательные состояния фирмы, факторы делятся на внутренние, технологические, описывающие фирму, и внешние, характеризующие окружающую среду, а количество информации, содержащееся в значении фактора, рассматривается как сила и направление его влияния на переход фирмы в те или иные будущие состояния.

4.4.9. Количественный SWOT-анализ факторов средствами АСК-анализа, F4\_4\_9(). АСК-анализ обеспечивает построение количественной SWOT-матрицы (модели) для заданного значения фактора с указанием степени, в которой он способствует или препятствует переходу объекта управления в различные будущие состояния, соответствующие классам (обратная задача SWOT-анализа). Эта модель строится непосредственно на основе эмпирических данных и поэтому АСК-анализ может рассматриваться как инструмент автоматизированного количественного SWOT-анализа. Факторы делятся на внутренние, технологические, описывающие саму фирму, и внешние, характеризующие окружающую среду.

4.4.10. Графическое отображение нелокальных нейронов, F4\_4\_10().

4.4.11. Отображение Паретто-подмножеств нелокальной нейронной сети, Razrab().

4.4.12. Классические и интегральные когнитивные карты, Razrab().

4.5. Визуализация когнитивных функций: текущее приложение, разные модели, F4\_5(). В данном режиме осуществляется визуализация и запись когнитивных функций, созданных в текущем приложении на основе различных стат.моделей и моделей знаний.

4.6. Подготовка баз данных для визуализация когнитивных функций в Excel, F4\_6(). Данный режим готовит базы данных для визуализации в MS Excel прямых и обратных, позитивных и негативных точечных и средневзвешенных редуцированных когнитивных функций, созданных на основе различных стат.моделей и моделей знаний.

## **5. Сервис Конвертирование, печать и сохранение модели, пересоздание и переиндексация всех баз данных**

5.1. Конвертер приложения OLD => NEW, F5\_1(). Преобразование модели из стандарта БД системы Эйдос-12.5 в стандарт Эйдос-X++. Для конвертирования старого приложения надо скопировать в папку: <OldAppls> файлы: Object.Dbf, Priz\_Ob.Dbf, Priz\_Per.Dbf, Priz\_Per.Dbt, Obinfzag.Dbf, Obinfkpr.Dbf.

5.2. Конвертер приложения NEW => OLD, F5(). Преобразование модели из стандарта БД системы Эйдос-X++ в стандарт Эйдос-12.5 в папку OldAppls. Все файлы из этой папки надо скопировать в текущую папку системы "Эйдос-12.5", выполнить режимы 7.2 и 2.3.5

5.3. Конвертер всех PCX (BMP) в GIF, Razrab().

5.4. Конвер. результатов расп.для SigmaPlot, F5\_4(). Конвертирует результаты распознавания, т.е. БД Rasp.dbf в параметрическую форму в стиле: "X, Y, Z", удобную для картографической визуализации в системе SigmaPlot. Это возможно, если предварительно были выполнены режимы 3.7.7 и 3.4(3.5.) и 4.1.2.

5.5. Просмотр основных БД всех моделей, F5\_5(). Обеспечивает просмотр и экспорт в Excel основных баз данных всех статистических моделей: Abs, Prc1, Prc2 и моделей знаний: Inf1~Prc1, Inf2~Prc2, Inf3-хи-квадрат, Inf4-roi~Prc1, Inf5-roi~Prc2, Inf6-Dp~Prc1, Inf7-Dp~Prc2.

5.6. Выбрать модель и сделать ее текущей, F5\_6(4, Т., "MainMenu") Данная функция позволяет выбрать среди ранее рассчитанных в 3-й подсистеме статистических баз Abs, Prc1, Prc2 и моделей знаний INF#, текущую модель для решения в 4-й подсистеме задач идентификации, прогнозирования, принятия решений и исследования предметной области путем исследования ее модели.

5.7. Переиндексация всех баз данных, F5\_7(). Заново создаются все необходимые для работы системы индексные массивы общесистемных баз данных (находящихся в папке с исполнимым модулем системы), а также баз данных текущего приложения, необходимые для работы с ним.

5.8. Сохранение основных баз данных модели, Razrab().

5.9. Восстановление модели из основных БД, Razrab().

5.10. Выгрузка исходных данных в "Inp\_data", F5\_10(). Данный режим выполняет функцию, обратную универсальному программному интерфейсу с внешними базами данных 2.3.2.2(), т.е. не вводит исходные данные в систему, а наоборот, формирует на основе исходных данных файлы: Inp\_data.dbf и Inp\_data.txt, на основе которых в режиме 2.3.2.2() можно сформировать эту же модель.

5.11. Внешнее управление системой "Эйдос", F5\_11(). Данный режим обеспечивает управление системой "Эйдос" в реальном времени со стороны внешней программы путем задания ею последовательности функций системы "Эйдос" для исполнения (по сути программы, написанной на языке "Эйдос") в специальной базе данных: "ExternalControl.dbf" и программного контроля их исполнения.

5.12. Пояснения по частн. и инт. крит. и лаб. работам, F5\_12(). Пояснения по смыслу частных и интегральных критериев и описания лабораторных работ.

## **6. О системе**

6.1. Информация о системе, разработчике и средствах разработки, F6\_1().

6.2. Ссылки на патенты, документацию и текущую версию системы, F6(). Интернет-ссылки на патенты, монографии, учебные пособия, научные статьи и самую новую (на текущий момент) версию системы "Эйдос-X++", а также полный комплект документации на нее одним файлом".

6.3. Карта системы (дерево диалога), Razrab().

6.4. Порядок преобразования данных в информацию, а ее в знания, F6\_4(). В режиме раскрывается соотношение содержания понятий: "Данные", "Информация" и "Знания", а также последовательность преобразования данных в информацию, а ее в знания в системе "Эйдос-X++" с указанием имен баз данных и ссылками на основные публикации по этим вопросам

6.5. Графическая заставка системы "Эйдос-12.5", F6\_5().

6.6. Roger Donnay, Professional Developer, Developer eXPress++, F6\_6(). Roger Donnay, профессиональный разработчик программного обеспечения, разработчик высокоэффективной инструментальной системы программирования eXPress++, широко использованной при создании системы "Эйдос-X++". Roger Donnay, Professional Developer, Developer eXPress++.

6.7. Логотипы мультимodelей, F6\_7().

6.8. Свидетельство РосПатента РФ на систему "Эйдос-X++", F6\_8().

7. Выход, F7(). Закрыть все базы данных и корректно выйти из системы.

Необходимо отметить, что все эти режимы, за исключением подсистемы администрирования и диспетчера приложений, были реализованы в предыдущей версии системы "Эйдос" и системах окружения.

В текущей версии системы «Эйдос-Х++» пока реализованы не все режимы системы «Эйдос», версии 12.5 (это последняя версия системы «Эйдос» под MS DOS от июня 2012 года). Такие режимы отмечены как разрабатываемые: Razrab().

Фрагмент дерева диалога системы «Эйдос-Х++» приведен на рисунке 6.3.

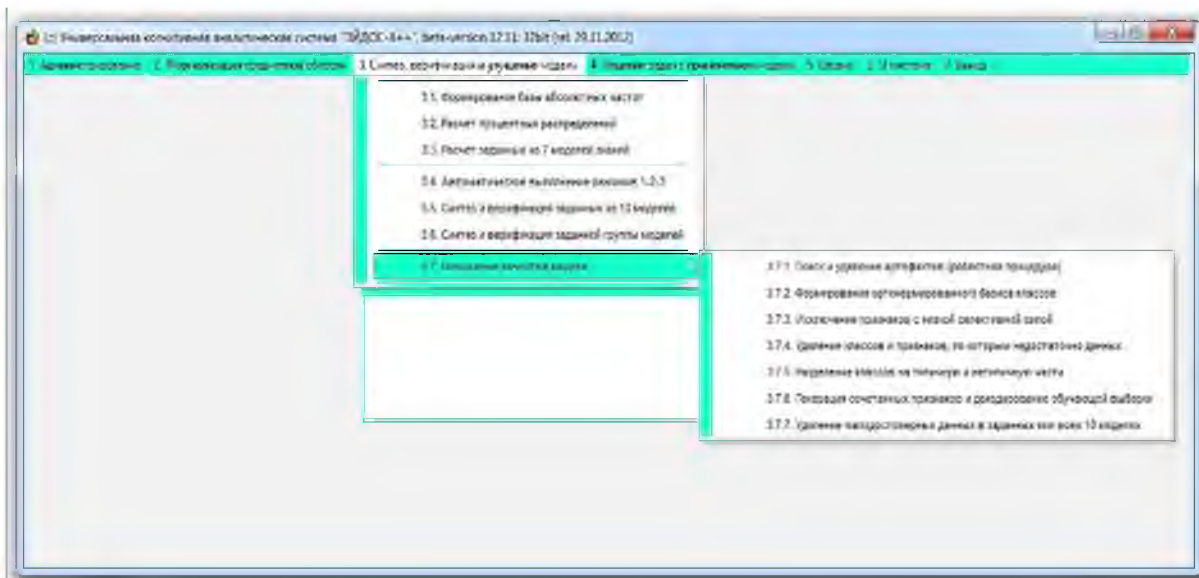


Рисунок 14 - Фрагмент дерева диалога системы «Эйдос-Х++»

Приведенная структура меню не окончательная, т.к. система непрерывно развивается. Одним из наиболее существенных отличий системы Эйдос-Х++ от предыдущей версии системы «Эйдос» является то, что она обеспечивает *одновременную* работу с 3 статистическими моделями, которые есть и в статистических системах, а также с 7 моделями знаний<sup>127</sup>, и позволяет во всех этих моделях решать задачи идентификации (прогнозирования), принятия решений и исследования предметной области с двумя интегральными критериями. При этом система Эйдос-Х++ оценивает эффективность применения различных частных и интегральных критериев для решения этих задач. Рассмотрим эти вопросы подробнее [30-34].

Управление – это достижение цели путем принятия и реализации решений об определенных действиях, способствующих достижению этой цели. Цели управления обычно заключаются в том, чтобы определенная система, которая называется объектом управления, находилась в определенном целевом (желаемом) состоянии или эволюционировала по определенному заранее известному или неизвестному сценарию. Действия, способствующие достижению цели, называются управляющими воздействиями. Решения об управляющих воздействиях принимаются управляющей системой. Управляющее воздействие вырабатывается управляющей системой на основе модели объекта управления и информации обратной связи о его состоянии и условиях окружающей среды.

<sup>127</sup> В предыдущей версии системы одновременно могла использоваться лишь одна модель знаний, а другие – если они выбраны в качестве текущей модели



Автоматизированные и автоматические системы управления отличаются друг от друга степенью формализации модели объекта управления и степенью автоматизации процесса выработки решения об управляющем воздействии:

– считается, что в системах автоматического управления (САУ) процесс выработки управляющего воздействия полностью автоматизирован, т.е. оно принимается управляющей системой автоматически, без участия человека;

– в автоматизированных системах управления (АСУ) решение об управляющем воздействии принимается управляющей системой с участием человека в процессе их взаимодействия.

Однако, по мнению авторов, методологически неверно представлять себе дело таким образом, как будто САУ принимают решение полностью самостоятельно, без какого-либо участия человека. Гораздо правильнее было бы сказать, что в случае САУ решение принимается человеком, который сконструировал и создал эти САУ и «заложил» в них определенные математические модели и реализующие их алгоритмы принятия решений, которые в процессе работы САУ просто используются на практике. Разве это не является участием человека? Следовательно, точнее было бы говорить не об участии или неучастии человека в принятии управляющих решений, а об его *участии в реальном времени* в случае АСУ и *отсроченном участии* в случае САУ.

Естественно, далеко не для всех видов объектов управления удастся построить их достаточно полную адекватную математическую модель, являющуюся основой для принятия управляющих решений. В более-менее полной мере это удастся сделать лишь для достаточно простых, в основном чисто технических систем, и именно для них удастся построить САУ. Для технологических же систем, а также других систем, включающих не только техническую компоненту, но людей в качестве элементов, это удастся сделать лишь в неполной мере, т.е. степень формализации управления такими системами ниже, чем в САУ. В этом случае в процессе выработки решения об управляющем воздействии остаются вообще неформализованные или слабо формализованные этапы, которые пока не поддаются автоматизации, и, поэтому, решения об управляющем воздействии не удастся принять на полностью формализованном уровне и тем самым полностью передать эту функцию системе управления. Этим и обусловлена необходимость включения человека непосредственно в цикл управления, что и приводит к созданию АСУ, в которых математические модели и алгоритмы используются не для принятия решений, а для создания человеку комфортных информационных условий, в которых он мог бы принимать решения на основе своего опыта и профессиональной компетенции. Поэтому и говорят, что АСУ не принимают решений, а лишь поддерживают принятие решений. Еще сложнее поддаются математическому моделированию и

формализации биологические и экологические, а также социально-экономические и психологические системы, включающие отдельных людей и их коллективы, т.е. сложные системы. Поэтому сложные системы обычно являются слабо формализованными и на этой их особенности практически основано их определение. Конечно, управление такими системами тоже осуществляется, но уже практически без использования математических моделей и компьютерных технологий, т.е. преимущественно на слабо формализованном интуитивном уровне на основе опыта и профессиональной компетенции экспертов и лиц, принимающих решения (ЛПР). При этом в соответствии с принципом Эшби управляемость сложных систем является неполной.

Таким образом, виды управления различными объектами управления можно классифицировать по степени формализации процесса принятия решений об управляющих воздействиях и, соответственно, по степени участия человека в этом процессе:

- САУ: автоматическое принятие решения без непосредственного участия человека в реальном времени;
- АСУ: поддержка принятия решений, т.е. создание комфортных информационных условий для принятия решений человеком в реальном времени;
- менеджмент: управление на слабо формализованном уровне практически без применения математических моделей.

Перспектива развития методов управления сложными системами, по мнению автора, состоит в повышении степени формализации процессов принятия решений при выборе вариантов управляющих воздействий. Однако на пути реализации этой перспективы необходимо решить проблему разработки технологии, обеспечивающей создание формальной количественной модели сложного объекта управления на основе эмпирических данных о его поведении под действием различных факторов, модели, пригодной для решения задач прогнозирования и принятия решений.

В стационарных САУ и АСУ объект управления не изменяется качественно в процессе управления и, поэтому, его модель, созданная на этапе проектирования и создания системы управления не теряет адекватность и в процессе ее применения. Иначе обстоит дело в случае, когда объект управления изменяется качественно непосредственно в процессе управления, т.е. является динамичным. В этом случае модель объекта управления быстро теряет адекватность, как и управляющие воздействия, выработанные на ее основе. Реализация таких неадекватных управляющих воздействий приводит уже не к достижению цели управления, а к срыву управления. Поэтому проблема состоит не только в том, чтобы создать адекватную модель сложного объекта управления, но и в том, чтобы сохранить ее адекватность при существенном изменении этого объекта, т.е. при изменении характера взаимосвязей между воздействующими факторами и поведением объекта управления.

Это означает, что система управления сложными динамичными объектами должна быть интеллектуальной, т.к. именно системы этого класса позволяют проводить обучение, адаптацию или настройку модели объекта управления за счет накопления и анализа информации о поведении этого объекта при различных сочетаниях действующих на него факторов. Таким образом, решив первую проблему, т.е. разработав технологию создания модели сложного объекта управления, мы этим самым создаем основные предпосылки и для решения и второй проблемы, т.к. для этого достаточно применить эту технологию непосредственно в цикле управления.

Как показано в работе (1), непосредственно на основе матрицы сопряженности (абсолютных частот) или с использованием матрицы условных и безусловных процентных распределений с использованием количественных мер знаний можно получить 7 различных моделей знаний, приведенных в таблице 6.2.

Таблица 6.2 - Различные аналитические формы частных критериев знаний в системе «Эйдос-Х++»

| Наименование модели знаний и частный критерий                                                                                                                                                                                                      | Выражение для частного критерия                              |                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                    | через относительные частоты                                  | через абсолютные частоты                                    |
| INF1, частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу, 1-й вариант расчета вероятностей: $N_j$ – суммарное количество признаков по j-му классу. Вероятность того, что если у объекта j-го класса обнаружен признак, то это i-й признак          | $I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_i}$       | $I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{N_{ij}N}{N_i N_j}$ |
| INF2, частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу, 2-й вариант расчета вероятностей: $N_j$ – суммарное количество объектов по j-му классу. Вероятность того, что если предъявлен объект j-го класса, то у него будет обнаружен i-й признак. | $I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_i}$       | $I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{N_{ij}N}{N_i N_j}$ |
| INF3, частный критерий: Хи-квадрат: разности между фактическими и теоретически ожидаемыми абсолютными частотами                                                                                                                                    | ---                                                          | $I_{ij} = N_{ij} - \frac{N_i N_j}{N}$                       |
| INF4, частный критерий: ROI - Return On Investment, 1-й вариант расчета вероятностей: $N_j$ – суммарное количество признаков по j-му классу                                                                                                        | $I_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_i} - 1 = \frac{P_{ij} - P_i}{P_i}$ | $I_{ij} = \frac{N_{ij}N}{N_i N_j} - 1$                      |
| INF5, частный критерий: ROI - Return On Investment, 2-й вариант расчета вероятностей: $N_j$ – суммарное количество объектов по j-му классу                                                                                                         | $I_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_i} - 1 = \frac{P_{ij} - P_i}{P_i}$ | $I_{ij} = \frac{N_{ij}N}{N_i N_j} - 1$                      |

|                                                                                                                                                               |                         |                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|
| INF6, частный критерий: разность условной и безусловной вероятностей, 1-й вариант расчета вероятностей: $N_j$ – суммарное количество признаков по j-му классу | $I_{ij} = P_{ij} - P_i$ | $I_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j} - \frac{N_i}{N}$ |
| INF7, частный критерий: разность условной и безусловной вероятностей, 2-й вариант расчета вероятностей: $N_j$ – суммарное количество объектов по j-му классу  | $I_{ij} = P_{ij} - P_i$ | $I_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j} - \frac{N_i}{N}$ |

Система «ЭйдосХ++» обеспечивает синтез и верификацию всех этих моделей знаний. При этом верификация (оценка достоверности) модели может осуществляться как с использованием всей обучающей выборки в качестве распознаваемой, так и с использованием различных ее подмножеств на основе бутстрепного подхода. Диалог режима синтеза модели и ее верификации приведен на рисунке 6.4:

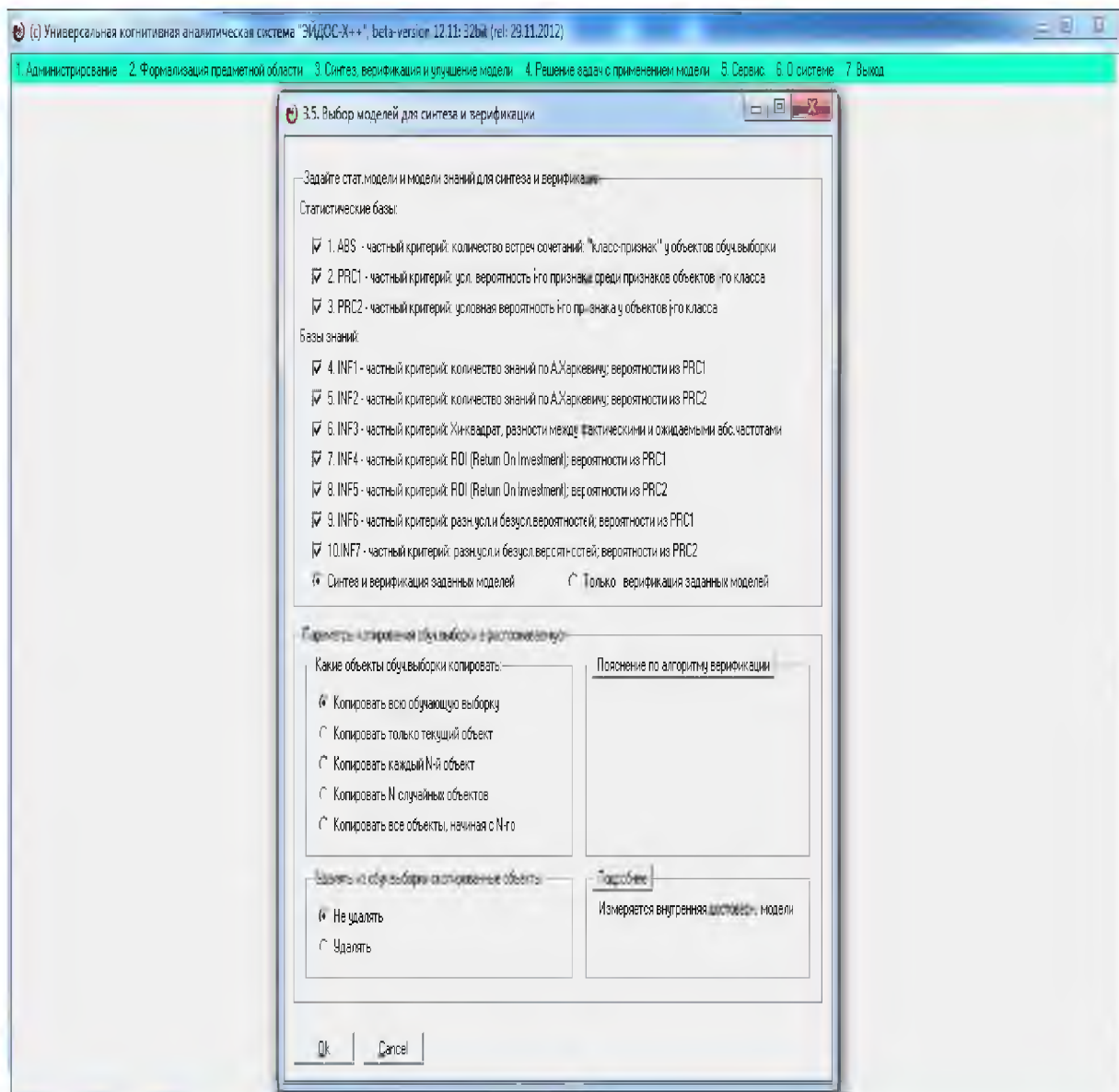


Рисунок 6.4 - Диалог режима синтеза модели и ее верификации в Системе «ЭйдосХ++»

Количественные значения коэффициентов  $I_{ij}$  таблицы 1 являются знаниями о том, что "объект перейдет в  $j$ -е состояние" если "на объект действует  $i$ -е значение фактора". Когда количество знаний  $I_{ij} > 0$  –  $i$ -й фактор способствует переходу объекта управления в  $j$ -е состояние, когда  $I_{ij} < 0$  – препятствует этому переходу, когда же  $I_{ij} = 0$  – никак не влияет на это. В векторе  $i$ -го фактора (строка матрицы знаний) отображается, какое количество знаний о переходе объекта управления в каждое из будущих состояний содержится в том факте, что данное значение фактора действует. В векторе  $j$ -го состояния класса (столбец матрицы знаний) отображается, какое количество знаний о переходе объекта управления в соответствующее состояние содержится в каждом из значений факторов, представленных в модели. Схема обработки данных и их преобразования в информацию и знания в системе Эйдос-Х++ представлена на рисунке 6.5.

Последовательность обработки данных, информации и знаний в системе Эйдос-Х++

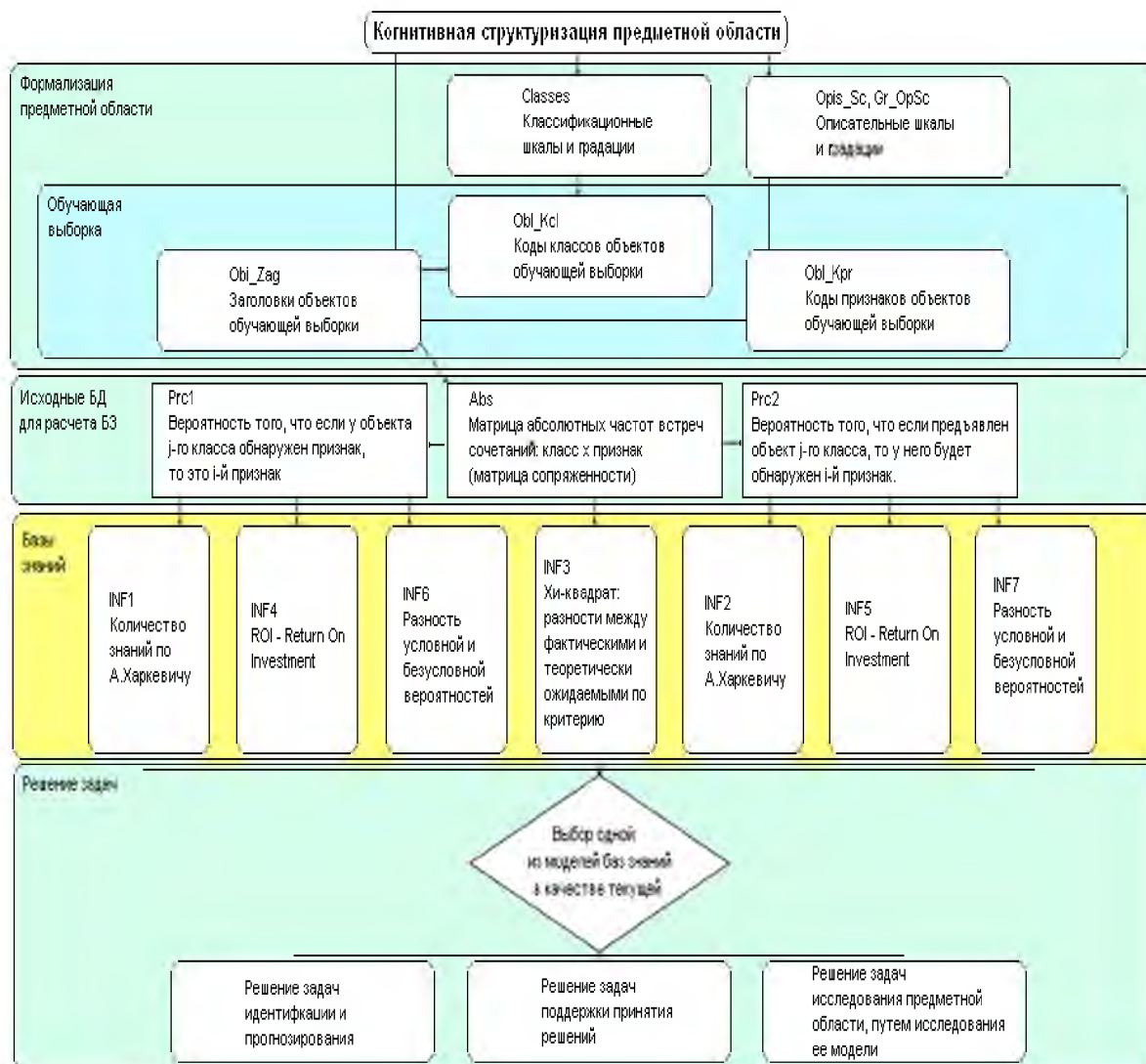


Рисунок 15. Схема обработки данных и их преобразования в информацию и знания в системе Эйдос-Х++

Все задачи идентификации, прогнозирования, принятия решений и исследования предметной области решаются в системе Эйдос-Х++ на основе моделей знаний, хотя для этого могут использоваться и статистические модели. Поэтому там, где возможности статистических систем заканчиваются, работа системы Эйдос-Х++ только начинается.

Таким образом, модель системы Эйдос-Х++ позволяет рассчитать какое количество знаний содержится в любом факте о наступлении любого события в любой предметной области, причем для этого не требуется повторности этих фактов. Если же эти повторности осуществляются и при этом наблюдается некоторая вариабельность значений факторов, обуславливающих наступление тех или иных событий, то модель обеспечивает многопараметрическую типизацию, т.е. синтез обобщенных образов классов или категорий наступающих событий с количественной оценкой силы и направления влияния на их наступление различных значений факторов. *Причем эти факторы могут быть различной природы (физические, экономические, социальные, психологические, организационные и другие), как количественными, так и качественными и измеряться в различных единицах измерения и обрабатываться в одной модели знаний сопоставимо друг с другом за счет того, что для любых значений факторов в модели оценивается количество знаний, которое в них содержится о наступлении событий, переходе объекта управления в определенные состояния или просто о его принадлежности к тем или иным классам.*

Рассмотрим поведение объекта управления при воздействии на него не одного, а целой системы значений факторов:

$$I_j = f(I_{ij}^P). \quad (6.1)$$

В теории принятия решений скалярная функция  $I_j$  векторного аргумента называется интегральным критерием. Основная проблема состоит в выборе такого аналитического вида функции интегрального критерия, который обеспечил бы эффективное решение задач, решаемых управляющей системой САУ и АСУ.

Учитывая, что частные критерии (таблица) имеют смысл количества знаний, а знания, как и информация, является аддитивной функцией, предлагается ввести интегральный критерий, как аддитивную функцию от частных критериев в виде:

$$I_j = (I_{ij}^P, L_i^P). \quad (6.2)$$

В выражении (2) круглыми скобками обозначено скалярное произведение, т.е. свертка. В координатной форме это выражение имеет вид:

$$I_j = \sum_{i=1}^M I_{ij} L_i, \quad (6.3)$$

где:

$I_{ij}^P = \{I_{ij}\}$  – вектор  $j$ -го класса-состояния объекта управления;

$\vec{L}_i = \{L_i\}$  – вектор состояния предметной области (объекта управления), включающий все виды факторов, характеризующих объект управления, возможные управляющие воздействия и окружающую среду (массив-локатор), т.е.  $L_i = n$ , если  $i$ -й признак встречается у объекта  $n$  раз.

Таким образом, предложенный интегральный критерий представляет собой суммарное количество знаний, содержащихся в системе значений факторов различной природы (т.е. факторах, характеризующих объект управления, управляющее воздействие и окружающую среду) о переходе объекта управления в то или иное будущее состояние.

В многокритериальной постановке задача прогнозирования состояния объекта управления, при оказании на него заданного многофакторного управляющего воздействия  $I_j$ , сводится к максимизации интегрального критерия:

$$j^* = \arg \max_{j \in J} ((I_j, \vec{L}_i)), \quad (5.4)$$

т.е. к выбору такого состояния объекта управления, для которого интегральный критерий максимален.

Результат прогнозирования поведения объекта управления, описанного данной системой факторов, представляет собой список его возможных будущих состояний, в котором они расположены в порядке убывания суммарного количества знаний о переходе объекта управления в каждое из них.

Задача принятия решения о выборе наиболее эффективного управляющего воздействия является обратной задачей по отношению к задаче максимизации интегрального критерия (идентификации и прогнозирования), т.е. вместо того, чтобы по набору факторов прогнозировать будущее состояние объекта, наоборот, по заданному (целевому) состоянию объекта определяется такой набор факторов, который с наибольшей эффективностью перевел бы объект управления в это состояние.

Предлагается обобщение фундаментальной леммы Неймана-Пирсона, основанное на косвенном учете корреляций между знаниями в векторе состояний при использовании средних по векторам. Соответственно, вместо простой суммы количеств информации предлагается использовать корреляцию между векторами состояния и объекта управления, которая количественно измеряет степень сходства этих векторов:

$$I_j = \frac{1}{\sigma_j \sigma_I A} \sum_{i=1}^M (I_{ij} - \bar{I}_j) (L_i - \bar{L}), \quad (6.5)$$

где:

$\bar{I}_j$  – средняя информативность по вектору класса;

$\bar{L}$  – среднее по вектору идентифицируемой ситуации (объекта).

$\sigma_j$  – среднее квадратичное отклонение информативностей вектора класса;

$\sigma_l$  – среднее квадратичное отклонение по вектору распознаваемого объекта.

Выражение (5) получается непосредственно из (3) после замены координат перемножаемых векторов их стандартизированными значениями. Необходимо отметить, что выражение для интегрального критерия сходства (5) по своей математической форме является корреляцией двух векторов, координатами которых являются частные критерии знаний (поэтому в системе «Эйдос-Х++» этот интегральный критерий называется «Смысловой или семантический резонанс знаний», а критерий (3) – «Сумма знаний»).

Таким образом, в системе «Эйдос-Х++» возможна оценка достоверности 7 моделей знаний, а также 3 статистических моделей, с использованием двух интегральных критериев сходства конкретного образа идентифицируемого объекта с обобщенным образом класса:

- «Резонанс знаний».

- «Сумма знаний».

При этом система генерирует несколько различных форм по достоверности моделей с этими интегральными критериями:

1. Обобщающая форма по достоверности моделей при разных интегральных критериях.

2. Обобщающий статистический анализ результатов идентификации по моделям

3. Достоверность идентификации классов в различных моделях

4. Распределение уровней сходства верно и ошибочно идентифицированных и не идентифицированных объектов в различных моделях.

5. Детальный статистический анализ результатов идентификации в различных моделях по классам

Объем статьи не позволяет привести конкретные примеры этих форм, и здесь можно лишь отметить, что многочисленные численные эксперименты подтвердили возможность обоснованно выбрать на их основе наиболее достоверную модель в каждом конкретном случае. Это означает, что в системе «Эйдос-Х++» после синтеза модели мы имеем возможность не сразу применять ее для решения различных задач, а предварительно обоснованно выбрать наиболее достоверную модель и уже затем использовать ее для решения конкретных задач.

Кроме того в системе «Эйдос-Х++» реализуется возможность идентификации объекта с каждым классом именно в той модели и с тем интегральным критерием, при которых была наиболее высокая достоверность идентификации. Этот алгоритм идентификации был впервые разработан и реализован совместно с А.П.Труневым в системе «Эйдос-астра» (5) и продемонстрировал повышение вероятности верной идентификации и



верной не идентификации около 20%. С приведенными монографиями можно ознакомиться на сайте автора системы «Эйдос» [27].

**Выводы.** Система «Эйдос» за многие годы применения хорошо показала себя при проведении научных исследований в различных предметных областях и занятиях по ряду научных дисциплин, связанных с искусственным интеллектом, представлениями знаний и управлению знаниями. Однако в процессе эксплуатации системы были выявлены и некоторые недостатки, ограничивающие перспективы применения системы. Создана качественно новая версия системы (система Эйдос-Х++), в которой преодолены ограничения и недостатки предыдущей версии и реализованы новые важные идеи по ее развитию и применению в качестве программного инструментария системно-когнитивного анализа (СК-анализ) [9].

*Автор благодарен заведующему кафедрой компьютерных технологий и систем ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет» Заслуженному деятелю науки РФ профессору В.И. Лойко, проректору по науке профессору Ю.П. Федулову за созданную возможность разработки системы «Эйлс-Х++», а Roger Donnay, профессиональному разработчику программного обеспечения, разработчику высокоэффективной инструментальной системы программирования eXPress++, широко использованной при создании системы "Эйдос-Х++" (Roger Donnay, Professional Developer, Developer eXPress++, Boise, Idaho USA, <http://donnay-software.com>), Clifford Wiernik (CPA/CNE, Senior IT Analyst, [www.aquafinance.com](http://www.aquafinance.com) [cwiernik@aquafinance.com](mailto:cwiernik@aquafinance.com) Tel: 800-234-3663 x1126, Fax: 715-848-1411, Aqua Finance, Inc, One Corporate Dr, Ste 300, Wausau WI 54401, USA) и всем участникам форума <http://bb.donnay-software.com:8080/phpBB3/>, оказывающим автору действенную и бескорыстную помощь в разработке.*

## 7 Лекция-7. Данные, информация, знания в соответствии с концепцией смысла «Шенка-Абельсона».

### Преобразование данных в информацию, а ее в знания и использование знаний для управления.

Рассмотрим соотношение содержания понятий: «Данные», «Информация» и «Знания» (рисунки 7.1-7.2).

О соотношении содержания понятий: «Данные», «Информация» и «Знания»

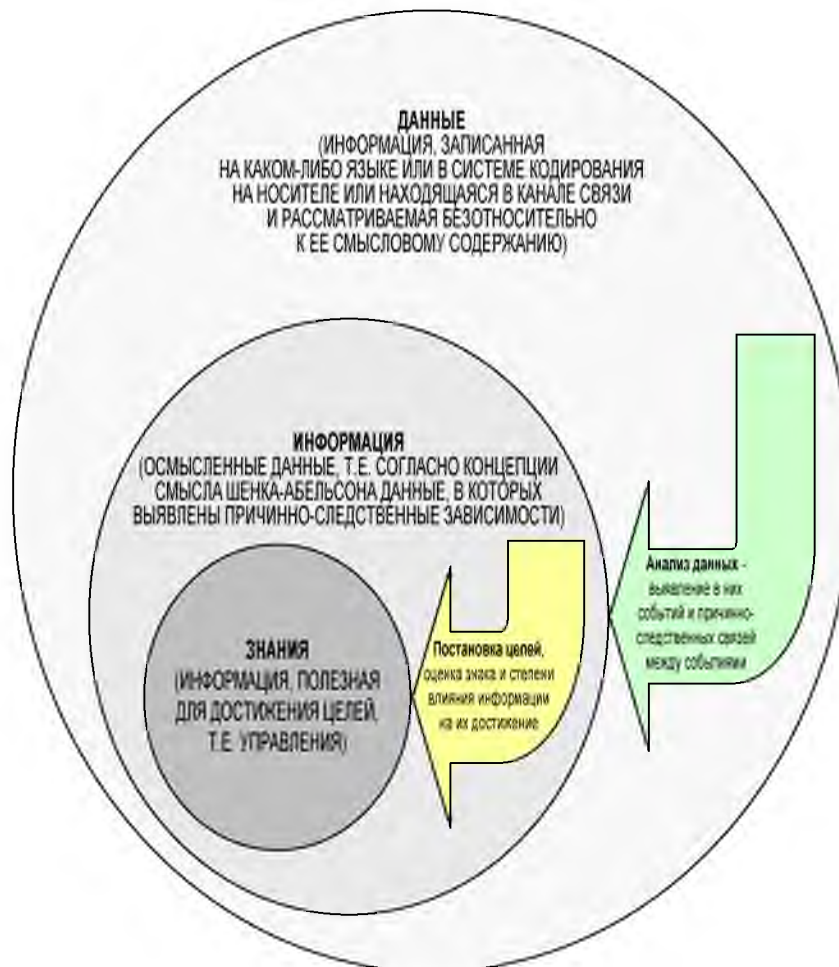


Рисунок 7.1 - Соотношение содержания понятий: «Данные», «Информация», «Знания»

**Данные – это информация, записанная на каком-либо носителе или находящаяся в каналах связи и представленная на каком-то языке или в системе кодирования и рассматриваемая безотносительно к ее смысловому содержанию.**

Исходные данные об объекте управления обычно представлены в форме баз данных, чаще всего временных рядов, т.е. данных, привязанных ко времени. В соответствии с методологией и технологией автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ), развиваемой проф.

Е.В.Луценко, для управления и принятия решений использовать непосред

## Последовательность обработки данных, информации и знаний в системе «Эйдос-Х++»

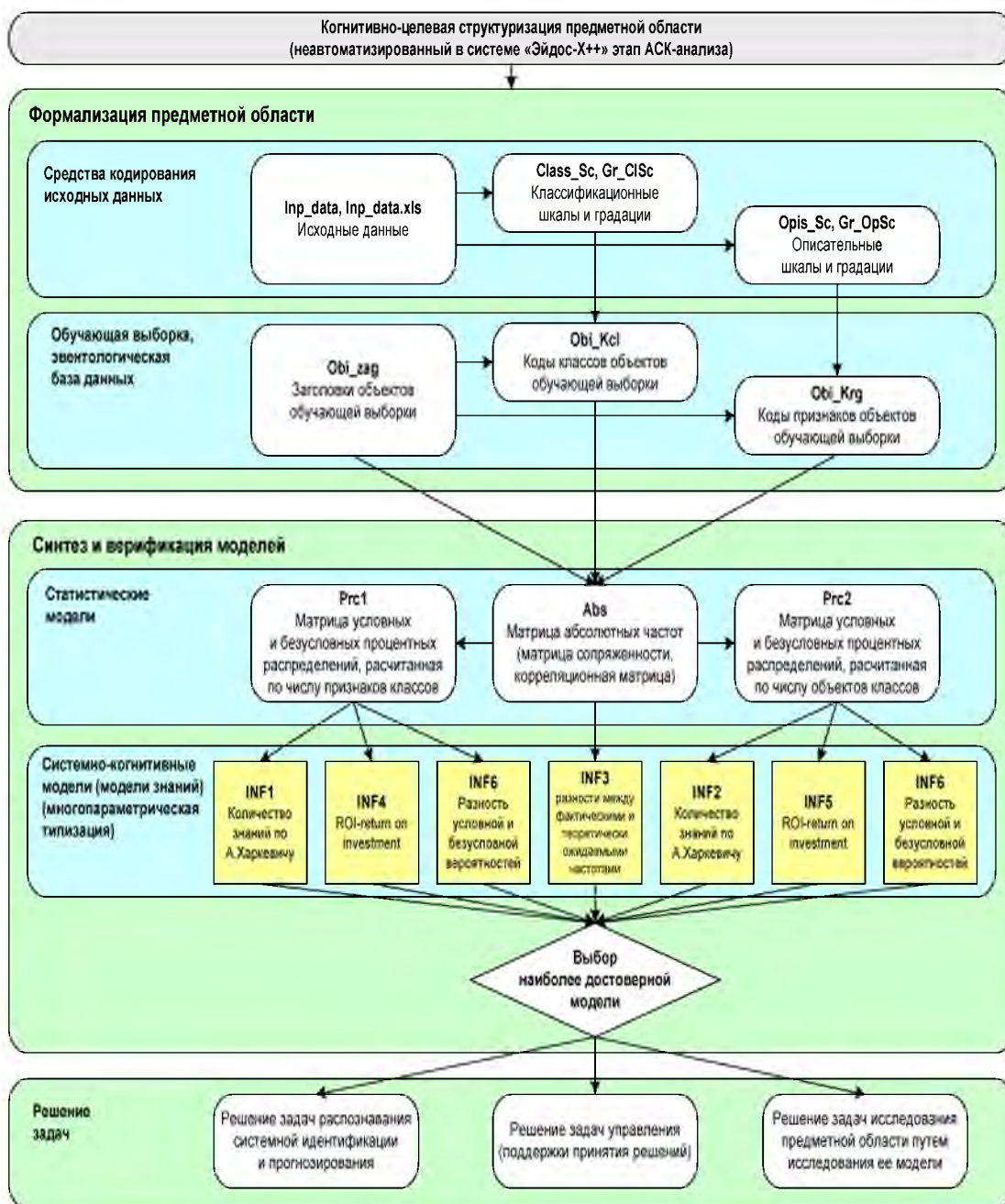


Рисунок 7.2. Этапы последовательного повышения степени формализации модели от данных к информации, а от нее к знаниям

ственно исходные данные не представляется возможным. Точнее сделать это можно, но результат управления при таком подходе оказывается мало чем отличающимся от случайного. Для реального же решения задачи управления необходимо предварительно преобразовать данные в информацию, а ее в знания о том, какие воздействия на корпорацию к каким ее изменениям обычно, как показывает опыт, приводят.

### **Информация есть осмысленные данные.**

Смысл данных, в соответствии с концепцией смысла Шенка-Абельсона, состоит в том, что известны причинно-следственные зависимости между событиями, которые описываются этими данными. Таким образом,

данные преобразуются в информацию в результате операции, которая называется «Анализ данных», которая состоит из двух этапов:

1. Выявление событий в данных (разработка классификационных и описательных шкал и градаций и преобразование с их использованием исходных данных в обучающую выборку, т.е. в базу событий – эвентологическую базу).

2. Выявление причинно-следственных зависимостей между событиями.

В случае систем управления событиями в данных являются совпадения определенных значений входных факторов и выходных параметров объекта управления, т.е. по сути, случаи перехода объекта управления в определенные будущие состояния под действием определенных сочетаний значений управляющих факторов. Качественные значения входных факторов и выходных параметров естественно формализовать в форме лингвистических переменных. Если же входные факторы и выходные параметры являются числовыми, то их значения измеряются с некоторой погрешностью и фактически представляют собой интервальные числовые значения, которые также могут быть представлены или формализованы в форме лингвистических переменных (типа: «малые», «средние», «большие» значения экономических показателей).

Какие же математические меры могут быть использованы для количественного измерения силы и направления причинно-следственных зависимостей?

Наиболее очевидным ответом на этот вопрос, который обычно первым всем приходит на ум, является: «Корреляция». Однако, в статистике это хорошо известно, что это совершенно не так. Для преобразования исходных данных в информацию необходимо не только выявить события в этих данных, но и найти причинно-следственные связи между этими событиями. В АСК-анализе предлагается 7 количественных мер причинно-следственных связей, основной из которых является семантическая мера целесообразности информации по А.Харкевичу.

**Знания – это информация, полезная для достижения целей.**

Значит для преобразования информации в знания необходимо:

1. Поставить цель (классифицировать будущие состояния моделируемого объекта на целевые и нежелательные).

2. Оценить полезность информации для достижения этой цели (знак и силу влияния).

Второй пункт, по сути, выполнен при преобразовании данных в информацию. Поэтому остается выполнить только первый пункт, т.к. классифицировать будущие состояния объекта управления как желательные (целевые) и нежелательные.

Знания могут быть представлены в различных формах, характеризующихся различной степенью формализации:

– вообще неформализованные знания, т.е. знания в своей собственной форме, ноу-хау (мышление без вербализации есть медитация);

– знания, формализованные в естественном вербальном языке;

- знания, формализованные в виде различных методик, схем, алгоритмов, планов, таблиц и отношений между ними (базы данных);
- знания в форме технологий, организационных, производственных, социально-экономических и политических структур;
- знания, формализованные в виде математических моделей и методов представления знаний в автоматизированных интеллектуальных системах (логическая, фреймовая, сетевая, продукционная, нейросетевая, нечеткая и другие).

Таким образом, для решения сформулированной проблемы необходимо осознанно и целенаправленно **последовательно повышать степень формализации** исходных данных до уровня, который позволяет ввести исходные данные в интеллектуальную систему, а затем:

- преобразовать исходные данные в информацию;
- преобразовать информацию в знания;
- использовать знания для решения задач управления, принятия решений и исследования предметной области.

Основные публикации авторов по вопросам выявления, представления и использования знаний: – <http://www.twirpx.com/file/793311/>

– Луценко Е.В. Системно-когнитивный анализ как развитие концепции смысла Шенка – Абельсона / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2004. – №03(005). С. 65 – 86. – IDA [article ID]: 0050403004. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2004/03/pdf/04.pdf>, 1,375 у.п.л.

– Луценко Е.В. Методологические аспекты выявления, представления и использования знаний в АСК-анализе и интеллектуальной системе «Эйдос» / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – №06(070). С. 233 – 280. – Шифр Информрегистра: 0421100012\0197, IDA [article ID]: 0701106018. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/06/pdf/18.pdf>, 3 у.п.л.

## 8 Лекция-8. Применение АСК-анализа и системы «Эйдос» для проектирования, синтеза и эксплуатации в адаптивном режиме системы организационного управления социально-экономической системой

### 2.8.1 Формулировка решаемых проблем

*Качество системы рассматривается автором, как эмерджентное свойство систем, обусловленное их составом и структурой [1, 2] и отражающее их функциональность, надежность, а также стоимость обеспечения функциональности и надежности.*

Соответственно для управления качеством систем необходимо уметь решать задачи идентификации состояний систем и на основе этого принятия решений (выработки управляющих воздействий) по такому изменению их состава и структуры, которые максимально повышают функциональность и надежность при минимальном необходимом для этого повышении стоимости. Поэтому в работе [1] предлагается рассматривать две цели управления объектом:

– связанные с использованием уже имеющихся качеств объекта управления путем его количественных изменений, т.е. перевода в заранее заданные целевые состояния без изменения качества;

– связанные с изменением самого качества и уровня системности объекта управления с целью формирования у него заранее заданных желательных (целевых) новых эмерджентных свойств (для их последующего использования).

Соответственно, в работе [1] предлагается различать и управляющие воздействия, направленные на достижение этих двух целей.

Если в первом случае управляющие факторы можно оценивать по силе и направлению их влияния на объект управления, то во втором случае – по величине и направлению изменения уровня системности и степени детерминированности, которые можно количественно измерять с помощью предложенных автором<sup>128</sup> выражений системной теории информации для коэффициентов эмерджентности Хартли и Харкевича, названных так в работе [3] в честь этих выдающихся ученых.

Чем выше уровень системности объекта управления, тем сильнее проявляются его нелинейные свойства, тем менее применимы параметрические методы, основанные на предположения о независимости управляющих факторов друг от друга и о независимости их действия на объект управления, тем сложнее идентифицировать состояние объекта управления и выработать управляющее воздействие на него.

---

<sup>128</sup> Идеи о коэффициентах эмерджентности оказались лакомым кусочком для довольно многочисленной и активной стаи плагиаторов, о чем можно почитать в статье: Вяткин В.Б. Групповой плагиат: от студента до министра. - Троицкий вариант — Наука - <http://trv-science.ru> - [Электронный ресурс]. Адрес доступа: <http://trv-science.ru/2011/11/08/gruppovoi-plagiat-ot-studenta-do-ministra/>



Поэтому возникает **1-я проблема** управления качеством состоит в том, что сам объект управления непосредственно в процессе управления изменяется качественно, т.е. изменяются его уровень системности, степень детерминированности и сама передаточная функция. Это в такой степени усложняет математическое моделирование объекта управления, что фактически делает его невозможным. Причина как в отсутствии математических методов адекватных этой задаче, так и реализующего эти методы программного инструментария.

Эта проблема распадается на несколько задач:

**1-я задача** состоит в создании и применении математической модели для многопараметрической типизации и системной идентификации состояния объекта управления;

**2-я задача** – в принятии решений об управляющем воздействии так изменяющем *состав* объекта управления, чтобы его качество максимально повышалось при минимальных затратах на это;

**3-я задача** – в принятии решений об управляющем воздействии так изменяющем *структуру* объекта управления, чтобы его качество максимально повышалось при минимальных затратах на это (эта задача в данной работе не рассматривается).

Традиционно в системах управления рассматривается только первая цель, хотя очевидно, что в сельском хозяйстве, медицине, науке и образовании (в частности педагогике и психологии) фактически идет речь о формировании объектов с новыми свойствами, т.е. о второй цели. Но делается это как-то не очень осознанно, т.к. не сопоставляется с традиционным подходом, принятым в системах управления техническими объектами, которая является наиболее развитой и математизированной. Отметим, что осознанно такое сравнение проведено автором в работе [3], в которой также предлагается понятийный и математический аппарат и реализующий их программный инструментарий для интеллектуального управления объектами, качественно изменяющимися в процессе управления, т.е. такими, у которых сама передаточная функция [4, 5], отражающая взаимосвязь управляющих факторов и выходных параметров объекта управления, является нелинейной и зависящей от времени и вообще сама может рассматриваться как объект управления.

Допустим, есть производство сложного технического изделия, компьютера, автомобиля или космического аппарата. Это изделие состоит из десятков тысяч комплектующих, у каждого из которых есть цена и качество. Обычно они связаны прямо пропорционально, но не всегда, т.к. *качество, как истина – всегда конкретно, т.е. обусловлено еще и тем, в какой степени подходит или не подходит* данное комплектующее именно данному изделию.

Например, при комплектации автомобиля «Лада 4x4» «600-мерседесовская» коробка передач не может рассматриваться как более качественная, чем отечественная просто по той причине, что она вообще не

подходит к этому автомобилю, т.е. ее качество в данном случае должно считаться равным нулю (при гораздо более высокой стоимости).

Поэтому хотя и понятно, что качество комплектующих как-то влияет на качество изделия в целом, но как именно (конкретно) влияет, это еще надо специально выяснить.

Так если при комплектации автомобиля «Лада 4x4» речь идет о покрышках, фильтрах, сальниках и т.п., влияние их поставщика и определяемого им качества на надежность автомобиля в целом может быть предметом отдельного исследования. Для проведения подобного исследования нужны исходные данные, обладающие вариабельностью по всем этим параметрам с одной стороны, и статистика ДТП и обращений в страховые компании и автосервис по этим автомобилям с другой стороны. На основе подобных исходных данных можно попытаться выявить причинно-следственные зависимости между составом изделия и его качеством и надежностью. Правда при этом возникает **2-я проблема**, которая состоит в том, что *для проведения подобного исследования необходим адекватный этой задаче математический аппарат и доступная реализующая его программная система*. В качестве примеров работ, где применялись сходные технологии, можно привести работы автора [6, 7, 8, 9].

Однако, кроме качества компонент (комплектующих), на качество изделия в целом, естественно, влияет еще и *технология*, с помощью которой осуществляется сборка изделия, и *персонал*, реализующий эту технологию. Анализ качества технологий также возможен [9, 10]. При исследовании этого влияния мы также сталкиваемся с 1-й и 2-й проблемами.

Ясно, что персонал тоже бывает квалифицированный и не очень, дорогой в Европе и США и относительно дешевый в Китае и Сингапуре. Причем один и тот же человек может быть квалифицированным для выполнения одних функций, и не очень для выполнения других, т.е. **квалификация**, по сути, есть **качество** реализации вполне определенных функций и так же конкретна, как и качество. Возможны все сочетания этих особенностей персонала, т.е. для выполнения некоторых конкретных функций существует как дорогой квалифицированный и не квалифицированный персонал, так и дешевый квалифицированный и не квалифицированный персонал. Естественно, *работодателю хотелось бы нанять дешевый квалифицированный персонал на все должности в своей фирме (естественно, кроме своей собственной), т.к. он прекрасно понимает, что от этого самым существенным образом зависит эффективность работы фирмы и затраты на обеспечение этой эффективности*. Практически это та же самая задача о качественной и дешевой комплектации изделия, т.к. персонал фирмы может рассматриваться как комплектация, а фирма, как изделие.

Но как это сделать? Для этого необходимо уметь оценивать степень соответствия личностных и профессиональных качеств реальных и потенциальных сотрудников требованиям различных должностей, которые есть в фирме. Если речь идет о кандидатах, то мы имеем дело с задачей



*подбора* персонала, если об уже работающих сотрудниках, то о задаче *расстановки* персонала. Но как определить эти требования (профессиограммы) и как их использовать для решения этих задач? Здесь мы также сталкиваемся с уже сформулированными выше двумя проблемами. Есть примеры решения подобных задач в ряде работ автора, см., например, работы [10-14].

С подобной задачей мы имеем дело и в случае, когда дети всем классом организованно пошли в небольшой магазин игрушек и родители дали им различные суммы денег на их приобретение. Каждый ребенок выбирает те игрушки, которые лично ему особенно *понравились*, и тратит на их приобретение имеющиеся у него финансовые *ресурсы*, причем количество игрушек ограничено и их на всех не хватает, т.е. дети сметают с полок практически все, пока на них не останутся только бракованные и поломанные, но при этом очень дорогие игрушки<sup>129</sup>.

**Цель** данной работы – это поиск ответа на вопрос о том, *как обеспечить максимальное возможное качество изделия путем управления его составом и структурой, понеся при этом минимальные необходимые и достаточные для достижения этого качества затраты.*

В дальнейшем изложении мы будем основываться на упрощенном примере с подбором и расстановкой персонала имея при этом в виду, что математическая суть этой задачи очень универсальная и позволяет применять в самых различных предметных областях.

## **2.8.2 Требования к методу решения проблем**

Из изложенного выше вытекают определенные требования к методу решения поставленных проблем и задач. Этот метод должен обеспечивать:

1. Построение (синтез) модели, отражающей силу и направление влияния личностных и профессиональных качеств сотрудников на их соответствие требованиям, предъявляемым на различных должностях в фирме, т.е. метод должен обеспечивать синтез профессиограмм.

2. Построение модели, позволяющей применять профессиограммы на практике для количественной сопоставимой оценки степени соответствия конкретного респондента (действующего сотрудника или кандидата), обладающего конкретным вполне определенным набором личностных и профессиональных качеств, требованиям различных должностей.

3. Установление того факта, что респондент обладает теми или иными личностными и профессиональными качествами, может осуществляться с помощью соответствующих *локализованных, адаптированных и предназначенных для этих целей психологических измерительных инструментов* (тестов и опросников, шкал и т.п.) [8, 15, 16].

---

<sup>129</sup> Вместо детей с таким же успехом взять взрослых: от этого в математической сути задачи ничего не меняется.

4. Назначение объектов на классы с учетом ресурсов классов, затрат на объекты и степени соответствия объектов классам таким образом, чтобы *как обеспечить максимальное возможное суммарное соответствие объектов классам при минимальных необходимых и достаточных для этого затратах.*

5. В случае изменения закономерностей в предметной области (нарушении принципа относительности [16]) из-за изменения места или времени применения данного метода, быть возможность его локализации и адаптации.

### 2.8.3 Традиционные пути решения проблем и их недостатки

С математической точки зрения, сформулированные проблемы и задачи относятся к каким-то вариантам и модификациям задачи о рюкзаке (ранце), коммивояжере и больше всего напоминают задачу о назначениях в варианте «Мультипликативный рюкзак». Эти задачи хорошо исследованы, предложено много вариантов их решения<sup>130</sup> и здесь нет смысла все это описывать.

*Однако, по сравнению с вариантом: «Мультипликативный рюкзак» в сформулированных выше проблемах и задачах есть и несколько, на взгляд автора, довольно существенных отличий, наличие которых позволяет обоснованно говорить об обобщенном варианте этой задачи:*

1. В классической постановке у предметов (объектов) есть только вес и ценность, *причем ценность не зависит от рюкзака (класса), а в нашей постановке зависит, т.е. каждый объект в различной степени подходит или не подходит (соответствует или не соответствует) к различным классам.*

2. Раз в классической постановке ценность объекта не зависит от класса, то, соответственно, не ставится и не решается вопрос о том, *как ее определить.* В классической постановке подобные параметры классов и объектов считаются заранее заданными (известными), *но нам необходимо их определить на основе исходных данных.*

3. Для сравнения объектов с классами необходимо *предварительно* сформировать обобщенные образы этих классов, т.е. провести *многопараметрическую типизацию* описаний (образом) конкретных объектов в исходных данных, о которых из опыта известно к каким классам они относятся.

4. В специальной литературе, за исключением работы [17], практически отсутствует описание методов сопоставимого количественного сравнения объектов друг с другом и обобщенными образами (системная идентификация), описанных в разнородных шкалах: количественных и качественных, измеряемых в различных единицах измерения и безразмерных

---

130

[http://vindex.ru/search/?text=задача%20о%20рюкзаке%20\(ранце\)%20коммивояжере%20назначениях%20Мультипликативный%20рюкзак&lr=35](http://vindex.ru/search/?text=задача%20о%20рюкзаке%20(ранце)%20коммивояжере%20назначениях%20Мультипликативный%20рюкзак&lr=35)

(проблема метризации шкал). В этом, кстати, состоит одна из нерешенных проблем кластерного анализа, решение которой предлагается в работе [18].

5. Для решения всех этих проблем на практике, как уже указывалось выше, необходим как адекватный математический аппарат, так и реализующая его программная система, а также и методика ее применения.

*Из-за перечисленных отличий* классический вариант задачи «Мультипликативный рюкзак» и ее классическое решение в нашем случае **не применимы**. Между тем решение предлагаемой обобщенной задачи о Мультипликативном рюкзаке чрезвычайно востребовано на практике, т.к. область его применения очень широка. Поэтому описание такого решения является весьма актуальным, что и является предметом рассмотрения данной статьи.

## 2.8.4 Предлагаемое решение проблем

Рассмотрим, в чем состоит предлагаемое решение 1-й и 2-й проблем и входящих в них задач:

**1-я проблема** *управления качеством состоит в том, что сам объект управления непосредственно в процессе управления изменяется качественно, т.е. изменяются его уровень системности, степень детерминированности и сама передаточная функция. Это в такой степени усложняет математическое моделирование объекта управления, что фактически делает его невозможным.* Причина как в отсутствии математических методов адекватных этой задаче, так и реализующего эти методы программного инструментария.

Эта проблема распадается на несколько задач:

**1-я задача** состоит в создании и применении математической модели для многопараметрической типизации и системной идентификации состояния объекта управления;

**2-я задача** – в принятии решений об управляющем воздействии так изменяющем *состав* объекта управления, чтобы его качество максимально повышалось при минимальных затратах на это;

**2-я проблема**, состоит в том, что для проведения подобного исследования необходим адекватный этой задаче математический аппарат и доступная реализующая его программная система.

Кратко рассмотрим предлагаемые решения.

### 2.8.4.1 Автоматизированный системно-когнитивный анализ и интеллектуальная система «Эйдос» как инструментарий решения проблем

АСК-анализ представляет собой один из современных инновационных методов искусственно интеллекта, который предоставляет научно обоснованные ответы на все эти вопросы, но самое существенное, что он оснащен широко и успешно апробированным универсальным программным инструментарием, позволяющим решить эти вопросы не только как обычно

на теоретическом концептуальном уровне, но и на практике [3, 19]. Модели знаний АСК-анализа основаны на нечеткой декларативной модели представления знаний, предложенной автором в 1979 году и являющейся гибридной моделью, сочетающей в себе преимущества фреймовой, нейросетевой и четкой продукционной моделей и обеспечивающей создание моделей очень больших размерностей до 10 млн. раз превышающих максимальные размерности моделей знаний экспертных систем с четкими продукциями:

- от фреймовой модели модель представления знания системы «Эйдос» отличается существенно упрощенной программной реализацией и более высоким быстродействием без потери функциональности;

- от нейросетевой тем, что обеспечивает хорошо обоснованную теоретически содержательную интерпретацию весовых коэффициентов на рецепторах и обучение методом прямого счета;

- от четкой продукционной модели – нечеткими продукциями, представленными в декларативной форме, что обеспечивает эффективное использование знаний без их многократной генерации для решения задач идентификации, прогнозирования, принятия решений и исследования моделируемого объекта.

АСК-анализ является непараметрическим методом, устойчивым к шуму в исходных данных, позволяющий корректно обрабатывать неполные (фрагментированные) исходные данные, описывающие воздействие взаимосвязанных факторов на нелинейный объект моделирования.

Суть метода АСК-анализа в том, что он позволяет рассчитать на основе исходных данных какое *количество информации* содержится в значениях факторов, обуславливающих переходы объекта моделирования в различные будущие состояния, причем как в желательные, так и в нежелательные [3]<sup>131</sup>.

Он состоит в целенаправленном *последовательном повышении степени формализации* исходных данных до уровня, который позволяет ввести исходные данные в компьютерную систему, а затем преобразовать исходные данные в информацию; информацию преобразовать в знания; использовать знания для решения задач прогнозирования, принятия решений и исследования предметной области.

Рассмотрим подробнее вопросы выявления, представления и использования знаний в АСК-анализе и системе «Эйдос».

**Данные – это информация, записанная на каком-либо носителе или находящаяся в каналах связи и представленная на каком-то языке или в системе кодирования и рассматриваемая безотносительно к ее смысловому содержанию.**

Исходные данные об объекте управления обычно представлены в форме баз данных, чаще всего временных рядов, т.е. данных, привязанных ко времени. В соответствии с методологией и технологией автоматизированного системно-когнитивного анализа (АСК-анализ), развиваемой проф.

---

<sup>131</sup> Вопреки тому, как его поняли некоторые авторы

Е.В.Луценко, для управления и принятия решений использовать непосредственно исходные данные не представляется возможным. Точнее сделать это можно, но результат управления при таком подходе оказывается мало чем отличающимся от случайного. Для реального же решения задачи управления необходимо предварительно преобразовать данные в информацию, а ее в знания о том, какие воздействия на корпорацию к каким ее изменениям обычно, как показывает опыт, приводят.

**Информация** *есть осмысленные данные.*

Смысл данных, в соответствии с концепцией смысла Шенка-Абельсона, состоит в том, что известны причинно-следственные зависимости между событиями, которые описываются этими данными. Таким образом, данные преобразуются в информацию в результате операции, которая называется «Анализ данных», которая состоит из двух этапов:

1. Выявление событий в данных (разработка классификационных и описательных шкал и градаций и преобразование с их использованием исходных данных в обучающую выборку, т.е. в базу событий – эвентологическую базу).

2. Выявление причинно-следственных зависимостей между событиями.

В случае систем управления событиями в данных являются совпадения определенных значений входных факторов и выходных параметров объекта управления, т.е. по сути, случаи перехода объекта управления в определенные будущие состояния под действием определенных сочетаний значений управляющих факторов. Качественные значения входных факторов и выходных параметров естественно формализовать в форме лингвистических переменных. Если же входные факторы и выходные параметры являются числовыми, то их значения измеряются с некоторой погрешностью и фактически представляют собой интервальные числовые значения, которые также могут быть представлены или формализованы в форме лингвистических переменных (типа: «малые», «средние», «большие» значения экономических показателей).

Какие же математические меры могут быть использованы для количественного измерения силы и направления причинно-следственных зависимостей?

Наиболее очевидным ответом на этот вопрос, который обычно первым всем приходит на ум, является: «Корреляция». Однако, в статистике это хорошо известно, что это совершенно не так. Для преобразования исходных данных в информацию необходимо не только выявить события в этих данных, но и найти причинно-следственные связи между этими событиями. В АСК-анализе предлагается 7 количественных мер причинно-следственных связей, основной из которых является семантическая мера целесообразности информации по А.Харкевичу.

**Знания** – *это информация, полезная для достижения целей*<sup>132</sup>.

---

<sup>132</sup> Основные публикации автора по вопросам выявления, представления и использования знаний:

Значит для преобразования информации в знания необходимо:

1. Поставить цель (классифицировать будущие состояния моделируемого объекта на целевые и нежелательные).
2. Оценить полезность информации для достижения этой цели (знак и силу влияния).

Второй пункт, по сути, выполнен при преобразовании данных в информацию. Поэтому остается выполнить только первый пункт, т.к. классифицировать будущие состояния объекта управления как желательные (целевые) и нежелательные.

Знания могут быть представлены в различных формах, характеризующихся различной степенью формализации:

- вообще неформализованные знания, т.е. знания в своей собственной форме, ноу-хау (мышление без вербализации есть медитация);
- знания, формализованные в естественном вербальном языке;
- знания, формализованные в виде различных методик, схем, алгоритмов, планов, таблиц и отношений между ними (базы данных);
- знания в форме технологий, организационных, производственных, социально-экономических и политических структур;
- знания, формализованные в виде математических моделей и методов представления знаний в автоматизированных интеллектуальных системах (логическая, фреймовая, сетевая, продукционная, нейросетевая, нечеткая и другие).

Таким образом, для решения сформулированной проблемы необходимо осознанно и целенаправленно **последовательно повышать степень формализации** исходных данных до уровня, который позволяет ввести исходные данные в интеллектуальную систему, а затем:

- преобразовать исходные данные в информацию;
- преобразовать информацию в знания;
- использовать знания для решения задач управления, принятия решений и исследования предметной области (рисунки 8.1 - 8.2):

---

– <http://www.twirpx.com/file/793311/>

– Луценко Е.В. Системно-когнитивный анализ как развитие концепции смысла Шенка – Абельсона / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2004. – №03(005). С. 65 – 86. – IDA [article ID]: 0050403004. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2004/03/pdf/04.pdf>. 1,375 у.п.л.

– Луценко Е.В. Методологические аспекты выявления, представления и использования знаний в АСК-анализе и интеллектуальной системе «Эйдос» / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – №06(070). С. 233 – 280. – Шифр Информрегистра: 0421100012\0197, IDA [article ID]: 0701106018. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/06/pdf/18.pdf>. 3 у.п.л.

О соотношении содержания понятий: «Данные», «Информация» и «Знания»

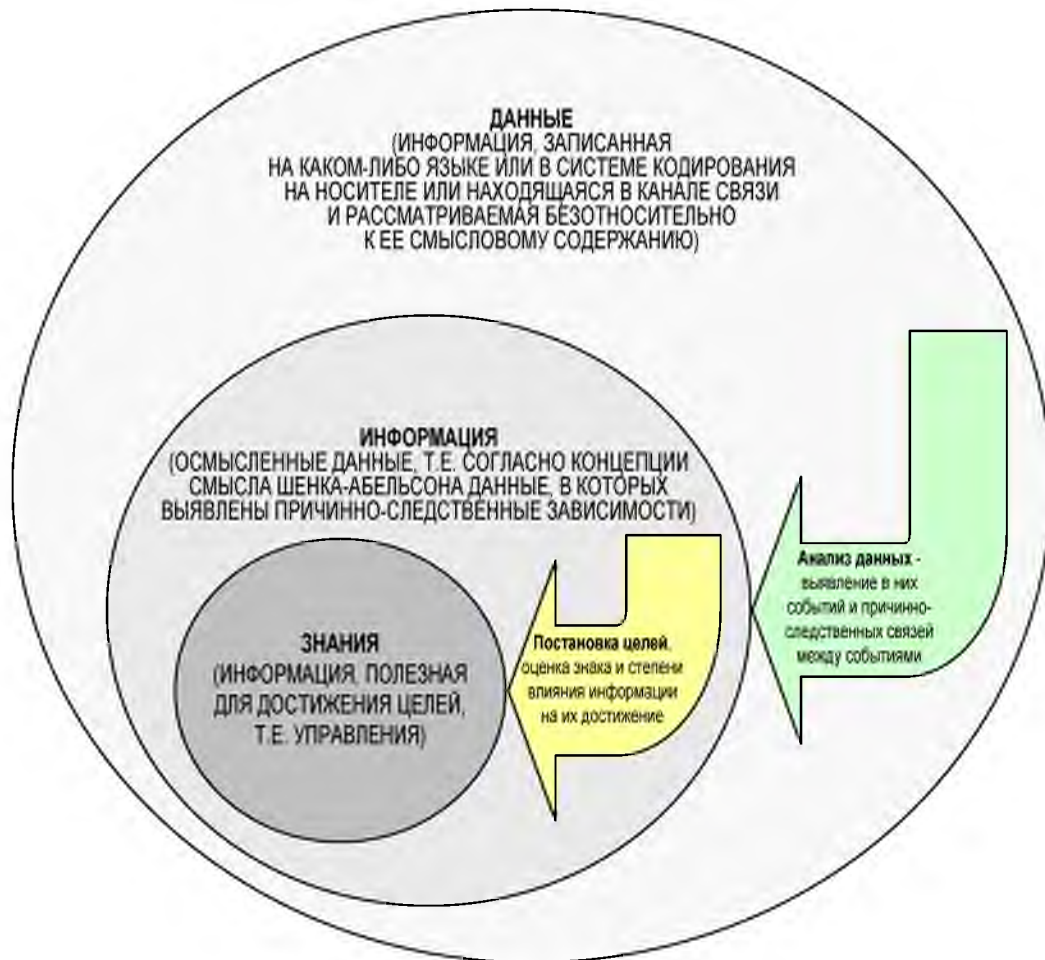


Рисунок 8.1. Соотношение содержания понятий: «Данные», «Информация», «Знания»



## Последовательность обработки данных, информации и знаний в системе «Эйдос-Х++»

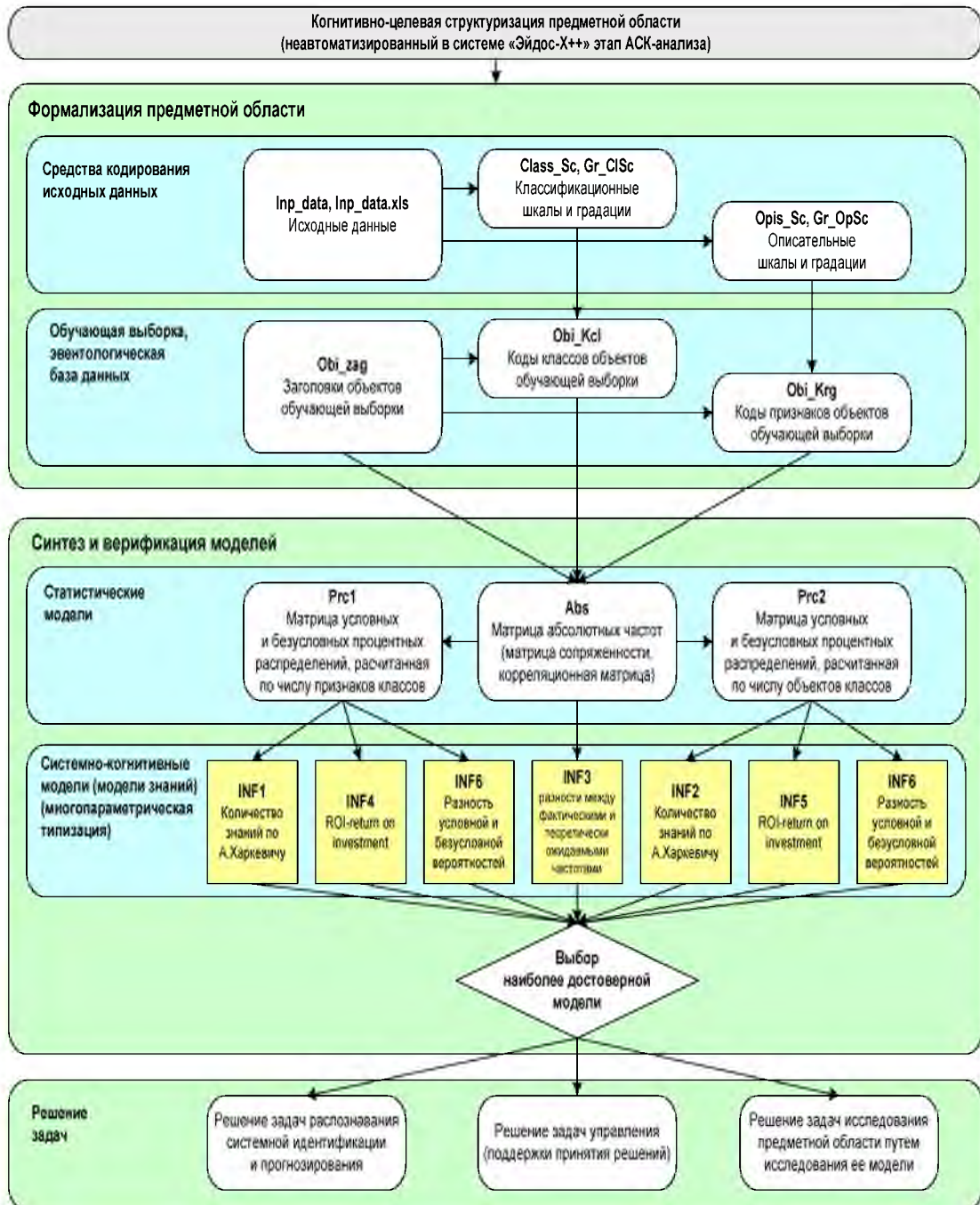


Рисунок 8.2. Этапы последовательного повышения степени формализации модели от данных к информации, а от нее к знаниям

АСК-анализ имеет следующие этапы [3, 19]:

- когнитивно-целевая структуризация предметной области;
- формализация предметной области (формирование классификационных и описательных шкал и градаций и обучающей выборки);
- синтез и верификация статистических и системно-когнитивных моделей;



– решение задач идентификации, прогнозирования, принятия решений и исследования предметной области в наиболее достоверных из созданных моделей.

Единственный неавтоматизированный в системе «Эйдос» этап – это первый, а остальные приведены на рисунке 1.

АСК-анализ имеет ряд особенностей, которые обусловили его выбор в качестве метода решения проблемы:

1. Имеет *теоретическое обоснование*, основой которого является *семантическая мера целесообразности информации* А.Харкевича.

2. Обеспечивает *корректную сопоставимую количественную обработку разнородных* по своей природе факторов, измеряемых в *различных единицах* измерения, *высокую точность* и независимость результатов расчетов от единиц измерения исходных данных.

3. Обеспечивает построение *многомерных моделей* объекта моделирования непосредственно на основе *неполных и искаженных эмпирических данных* о нем.

4. Имеет развитую и *доступную программную реализацию* в виде универсальной когнитивной аналитической системы «Эйдос» (открытое программное обеспечение: <http://lc.kubagro.ru/aidos/Aidos-X.htm>).

#### 2.8.4.1.1 Частные критерии и виды моделей системы «Эйдос»

Частные критерии знаний, используемые в настоящее время в АСК-анализе и системе «Эйдос-Х++», приведены в таблице 1.

Таблица 8.1 – Частные критерии знаний, используемые в настоящее время в АСК-анализе и системе «Эйдос-Х++»

| Наименование модели знаний и частный критерий                                                                                                                                                                                                                                | Выражение для частного критерия                        |                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                              | через относительные частоты                            | через абсолютные частоты                                    |
| <b>INF1</b> , частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу, 1-й вариант расчета относительных частот: $N_j$ – суммарное количество признаков по $j$ -му классу. Относительная частота того, что если у объекта $j$ -го класса обнаружен признак, то это $i$ -й признак | $I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_i}$ | $I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{N_{ij}N}{N_i N_j}$ |
| <b>INF2</b> , частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу, 2-й вариант расчета относительных частот: $N_j$ – суммарное количество объектов по $j$ -                                                                                                                   | $I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_i}$ | $I_{ij} = \Psi \times \text{Log}_2 \frac{N_{ij}N}{N_i N_j}$ |

|                                                                                                                                                                                          |                                                              |                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| му классу. Относительная частота того, что если предъявлен объект $j$ -го класса, то у него будет обнаружен $i$ -й признак.                                                              |                                                              |                                               |
| <b>INF3</b> , частный критерий: Хи-квадрат: разности между фактическими и теоретически ожидаемыми абсолютными частотами                                                                  | ---                                                          | $I_{ij} = N_{ij} - \frac{N_i N_j}{N}$         |
| <b>INF4</b> , частный критерий: ROI - Return On Investment, 1-й вариант расчета относительных частот: $N_j$ – суммарное количество признаков по $j$ -му классу                           | $I_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_i} - 1 = \frac{P_{ij} - P_i}{P_i}$ | $I_{ij} = \frac{N_{ij} N}{N_i N_j} - 1$       |
| <b>INF5</b> , частный критерий: ROI - Return On Investment, 2-й вариант расчета относительных частот: $N_j$ – суммарное количество объектов по $j$ -му классу                            | $I_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_i} - 1 = \frac{P_{ij} - P_i}{P_i}$ | $I_{ij} = \frac{N_{ij} N}{N_i N_j} - 1$       |
| <b>INF6</b> , частный критерий: разность условной и безусловной относительных частот, 1-й вариант расчета относительных частот: $N_j$ – суммарное количество признаков по $j$ -му классу | $I_{ij} = P_{ij} - P_i$                                      | $I_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j} - \frac{N_i}{N}$ |
| <b>INF7</b> , частный критерий: разность условной и безусловной относительных частот, 2-й вариант расчета относительных частот: $N_j$ – суммарное количество объектов по $j$ -му классу  | $I_{ij} = P_{ij} - P_i$                                      | $I_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j} - \frac{N_i}{N}$ |

Обозначения:

$i$  – значение прошлого параметра;

$j$  – значение будущего параметра;

$N_{ij}$  – количество встреч  $j$ -го значения будущего параметра при  $i$ -м значении прошлого параметра;

$M$  – суммарное число значений всех прошлых параметров;

$W$  – суммарное число значений всех будущих параметров.

$N_i$  – количество встреч  $i$ -м значения прошлого параметра по всей выборке;

$N_j$  – количество встреч  $j$ -го значения будущего параметра по всей выборке;

$N$  – количество встреч  $j$ -го значения будущего параметра при  $i$ -м значении прошлого параметра по всей выборке.

$I_{ij}$  – частный критерий знаний: количество знаний в факте наблюдения  $i$ -го значения прошлого параметра о том, что объект перейдет в состояние, соответствующее  $j$ -му значению будущего параметра;

$\Psi$  – нормировочный коэффициент (Е.В.Луценко, 1979, впервые опубликовано в 1993 году [15]), преобразующий количество информации в формуле А.Харкевича в биты и обеспечивающий для нее соблюдение принципа соответствия с формулой Р.Хартли;

$P_i$  – безусловная относительная частота встречи  $i$ -го значения прошлого параметра в обучающей выборке;

$P_{ij}$  – условная относительная частота встречи  $i$ -го значения прошлого параметра при  $j$ -м значении будущего параметра.

По сути, частные критерии представляют собой просто формулы для преобразования матрицы абсолютных частот<sup>133</sup> в матрицы условных и безусловных процентных распределений и матрицы знаний (рисунок 2).

#### 2.8.4.1.2 Ценность описательных шкал и градаций для решения задач

Для любой из моделей системой «Эйдос» рассчитывается *ценность*<sup>134</sup> градации описательной шкалы, т.е. признака, для идентификации или прогнозирования. **Количественной мерой ценности признака в той или иной модели является вариабельность по классам частного критерия для этого признака.** Мер вариабельности может быть много, но наиболее известными является среднее модулей отклонения от среднего, дисперсия и среднеквадратичное отклонение. Последняя мера и используется в АСК-анализе и системе «Эйдос».

В системе «Эйдос» ценность признаков нарастающим итогом выводится в графической форме.

При большом объеме обучающей выборки можно без ущерба для достоверности модели удалить из нее малозначимые признаки (Парето-оптимизация). Для этого в системе «Эйдос» также есть соответствующие инструменты.

Поэтому можно выделить три основных этапа разработки и эксплуатации предлагаемой адаптивной методики управления качеством системы:

1. Разработка методики решения задачи:

- создание модели на репрезентативной выборке подробно описанных объектов, о которых известна их принадлежность к классам;
- Парето-оптимизация и верификация модели.

<sup>133</sup> Которая является также матрицей сопряженности или корреляционной матрицей.

<sup>134</sup> Эта ценность в АСК-анализе называется также интегральной информативностью, дифференцирующей или дискриминантной способностью и селективной силой, т.е. эти термины являются синонимами.

2. Применение разработанной методики на практике.
3. Адаптация и локализация методики (повторение п.1).

Отметим, что для реализации всех этих этапов необходимо иметь соответствующий адекватный инструментарий, в качестве которого может выступать АСК-анализ и система «Эйдос».

Отсутствие такого инструментария обрекает пользователей на использование неадаптированных и не локализованных методик, не предназначенных для достижения тех целей, для которых они применяются, т.е. практически обрекают на профанацию обоснованного научного подхода к решению поставленных проблем и задач.

#### **2.8.4.2 Решение 1-й задачи – многопараметрической типизации и системной идентификации состояний объектов, описанных в разнородных шкалах: количественных и качественных, измеряемых в различных единицах измерения**

##### **2.8.4.2.1 Численный пример решения 1-й задачи**

Решение 1-й задачи является стандартным для системы «Эйдос», т.е. она предназначена для решения подобных задач и соответствующие применения описаны в работах автора [1-27]<sup>135</sup>.

В соответствии с этапами АСК-анализа и порядком преобразования данных в информацию, а ее в знания (рисунок 2), рассмотрим Excel-таблицу исходных данных (таблица 8.2):

В режиме 2.3.2.2 системы «Эйдос» (рисунки 8.3 – 8.6) осуществляется *нормализация* базы исходных данных (таблица 8.2) путем автоматической разработки классификационных и описательных шкал и градаций (таблицы 8.3 – 8.4) и кодирования с их использованием исходных данных и представления их в форме эвентологической базы данных (обучающей выборки) (таблица 8.5).

Таблица 8.2 – Исходные данные для синтеза системно-когнитивной модели управления качеством системы путем управления ее составом<sup>136</sup>

---

<sup>135</sup> Для удобства читателей ссылки на эти и другие работы даны с сайта автора: <http://lc.kubagro.ru/>

<sup>136</sup> Для численной иллюстрации излагаемых подходов в статье используется чрезвычайно упрощенный условный пример малой размерности, связанный с управлением персоналом фирмы.

| Объект обучающей<br>выборки | Пол     | Откуда родом   | Успеваемость  | Длина волос | Цвет волос    | Цвет глаз      | Наличие<br>украшений         | Одежда         | Макияж      | Собственность                                     | Посещаемость<br>занятий |
|-----------------------------|---------|----------------|---------------|-------------|---------------|----------------|------------------------------|----------------|-------------|---------------------------------------------------|-------------------------|
| Бабенко ПИ-51               | мужской | районный_центр | менее_25%     | Короткие    | Русые         | Голубые        | Нет                          | джинсы         | Отсутствует | телефон                                           | Средняя                 |
| Воробьева ПИ-51             | женский | поселок        | менее_25%     | Длинные     | Крашенные     | Зеленые        | Цепочка                      | джинсы         | Отсутствует | автомобиль,<br>компьютер,<br>телефон              | Хорошая                 |
| Жеребятьев ПИ-51            | мужской | поселок        | от_50%_до_75% | Средние     | Очень_светлые | Голубые        | Нет                          | джинсы         | Незаметный  | телефон                                           | Плохая                  |
| Зяц ПИ-51                   | женский | районный_центр | менее_25%     | Длинные     | Каштановые    | Зеленые        | Серьги                       | джинсы         | Незаметный  | компьютер,<br>телефон                             | Средняя                 |
| Иванова ПИ-51               | женский | краевой_центр  | более_75%     | Средние     | Русые         | Зеленые        | Цепочка,<br>Перстень, Серьги | джинсы         | Незаметный  | компьютер                                         | Хорошая                 |
| Котенко ПИ-51               | женский | районный_центр | более_75%     | Короткие    | Каштановые    | Карие          | Цепочка, Серьги              | джинсы         | Незаметный  | компьютер,                                        | Хорошая                 |
| Кузина О. ПИ-51             | женский | краевой_центр  | от_50%_до_75% | Короткие    | Крашенные     | Карие          | Перстень                     | джинсы         | Заметный    | компьютер,<br>телефон                             | Хорошая                 |
| Кузина Я. ПИ-51             | женский | краевой_центр  | от_50%_до_75% | Короткие    | Крашенные     |                | Перстень                     | Пиджак         | Заметный    |                                                   | Хорошая                 |
| Лях ПИ-51                   | мужской | краевой_центр  | от_50%_до_75% | Короткие    | Русые         | Серые          | Цепочка                      | Пиджак, джинсы | Отсутствует | квартира,<br>компьютер,<br>телефон                | Средняя                 |
| Мясников ПИ-51              | мужской | краевой_центр  | от_25%_до_50% | Короткие    | Русые         | Голубые        | Цепочка, Браслет             | джинсы         | Отсутствует | квартира, телефон                                 | Хорошая                 |
| Нагапетян ПИ-51             | мужской | районный_центр | от_25%_до_50% | Короткие    | Каштановые    | Карие          | Серьги                       | джинсы         | Незаметный  | квартира,<br>компьютер,<br>телефон                | Плохая                  |
| Черкашина ПИ-51             | женский | районный_центр | менее_25%     | Длинные     | Каштановые    | Карие          | Цепочка                      | джинсы         | Незаметный  | квартира,<br>компьютер,<br>телефон                | Плохая                  |
| Шульгин ПИ-51               | мужской | поселок        | от_50%_до_75% | Короткие    | Русые         | Серые          | Нет                          | Пиджак         | Отсутствует | компьютер                                         | Плохая                  |
| Веревкина ПИ-52             | женский | краевой_центр  | от_25%_до_50% | Короткие    | Очень_светлые | Серые          | Серьги                       | джинсы         | Незаметный  | Ничего_нет                                        | Очень_хорошая           |
| Григорьева ПИ-52            | женский | районный_центр | от_50%_до_75% | Средние     | Русые         | Серые          | Цепочка                      | джинсы         | Заметный    | Ничего_нет                                        | Очень_хорошая           |
| Еременко ПИ-52              | женский | районный_центр | от_50%_до_75% | Средние     | Русые         | Зеленые, Серые | Цепочка, Серьги              | джинсы         | Незаметный  | компьютер,<br>телефон                             | Средняя                 |
| Иванова ПИ-52               | женский | краевой_центр  | от_25%_до_50% | Средние     | Очень_темные  | Голубые        | Перстень, Серьги             | Пиджак, джинсы | Отсутствует | Ничего_нет                                        | Очень_хорошая           |
| Крейс ПИ-52                 | женский | районный_центр | от_50%_до_75% | Короткие    | Русые         | Серые          | Серьги                       | Юбка           | Незаметный  | Ничего_нет                                        | Хорошая                 |
| Куркина ПИ-52               | женский | краевой_центр  | от_50%_до_75% | Длинные     | Каштановые    | Карие          | Цепочка, Серьги              | джинсы, Юбка   | Заметный    | компьютер,<br>телефон                             | Хорошая                 |
| Люлик ПИ-52                 | женский | поселок        | от_50%_до_75% | Средние     | Крашенные     | Зеленые        | Серьги                       | джинсы         | Заметный    | квартира,<br>компьютер                            | Хорошая                 |
| Мануйлов ПИ-52              | мужской | краевой_центр  | более_75%     | Короткие    | Русые         | Серые          | Перстень                     | джинсы         | Отсутствует | квартира,<br>автомобиль,<br>компьютер,<br>телефон | Плохая                  |
| Нарижный ПИ-52              | мужской | краевой_центр  | более_75%     | Короткие    | Русые         | Серые          | Перстень                     | джинсы         | Отсутствует | квартира,<br>автомобиль,<br>компьютер,<br>телефон | Средняя                 |
| Паршакова ПИ-52             | женский | село           | от_50%_до_75% | Средние     | Каштановые    | Карие          | Цепочка                      | Юбка           | Заметный    | компьютер                                         | Хорошая                 |
| Силенко ПИ-52               | мужской | краевой_центр  | более_75%     | Короткие    | Каштановые    | Зеленые        | Цепочка                      | джинсы         | Отсутствует | Ничего_нет                                        | Хорошая                 |
| Соколова ПИ-52              | женский | районный_центр | от_50%_до_75% | Короткие    | Русые         | Зеленые        | Нет                          | Пиджак, джинсы | Заметный    | квартира,<br>компьютер,<br>телефон                | Хорошая                 |
| Цисарь ПИ-52                | женский | поселок        | от_25%_до_50% | Средние     | Крашенные     | Карие          | Цепочка                      | джинсы         | Заметный    | телефон                                           | Очень_хорошая           |

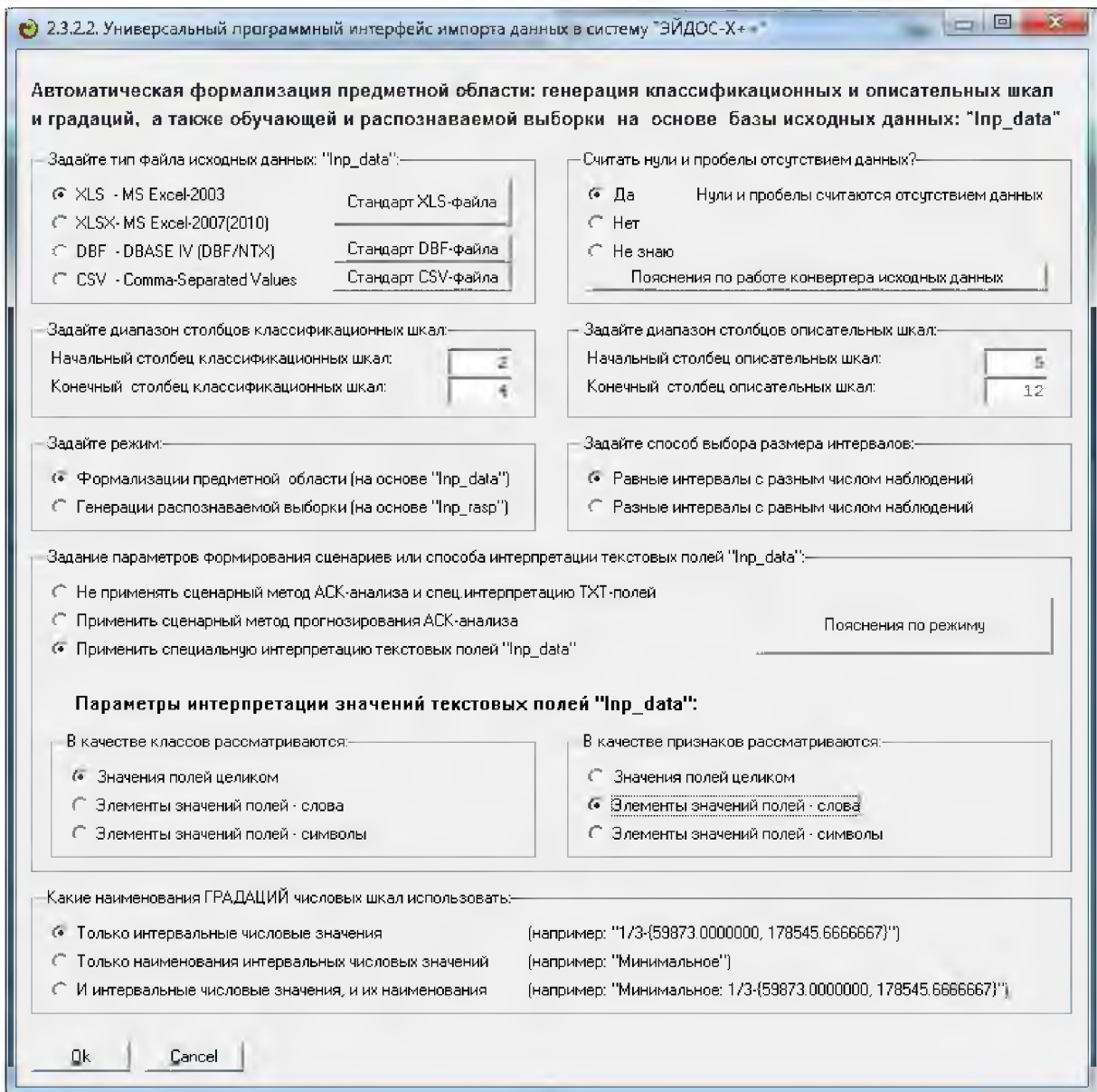


Рисунок 8.3 - Главная экранная форма для задания параметров импорта данных в систему «Эйдос» из внешней базы данных, представленной в таблице 2

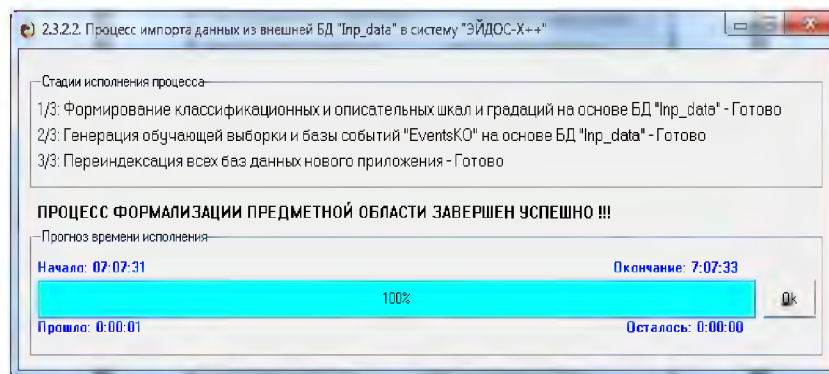


Рисунок 8.4 - Отображение стадии процесса импорта данных





Рисунок 8.5 - Внутренний калькулятор программного интерфейса



Рисунок 8.6 - HELP универсального программного интерфейса

Таблица 8.3 – Классификационные шкалы и градации

| KOD CLS | NAME CLS                    |
|---------|-----------------------------|
| 1       | ПОЛ-женский                 |
| 2       | ПОЛ-мужской                 |
| 3       | ОТКУДА РОДОМ-краевой центр  |
| 4       | ОТКУДА РОДОМ-поселок        |
| 5       | ОТКУДА РОДОМ-районный центр |
| 6       | ОТКУДА РОДОМ-село           |
| 7       | УСПЕВАЕМОСТЬ-более 75%      |
| 8       | УСПЕВАЕМОСТЬ-менее 25%      |
| 9       | УСПЕВАЕМОСТЬ-от 25% до 50%  |
| 10      | УСПЕВАЕМОСТЬ-от 50% до 75%  |

Таблица 8.4 – Описательные шкалы и градации

| KOD_ATR | NAME_ATR                           |
|---------|------------------------------------|
| 1       | ДЛИНА ВОЛОС-Длинные                |
| 2       | ДЛИНА ВОЛОС-Короткие               |
| 3       | ДЛИНА ВОЛОС-Средние                |
| 4       | ЦВЕТ ВОЛОС-Каштановые              |
| 5       | ЦВЕТ ВОЛОС-Очень светлые           |
| 6       | ЦВЕТ ВОЛОС-Очень темные            |
| 7       | ЦВЕТ ВОЛОС-Крашенные               |
| 8       | ЦВЕТ ВОЛОС-Русые                   |
| 9       | ЦВЕТ ГЛАЗ-Карие                    |
| 10      | ЦВЕТ ГЛАЗ-Голубые                  |
| 11      | ЦВЕТ ГЛАЗ-Зеленые                  |
| 12      | ЦВЕТ ГЛАЗ-Серые                    |
| 13      | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Браслет          |
| 14      | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Нет              |
| 15      | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Перстень         |
| 16      | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Серьги           |
| 17      | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Цепочка          |
| 18      | ОДЕЖДА-Джинсы                      |
| 19      | ОДЕЖДА-Пиджак                      |
| 20      | ОДЕЖДА-Юбка                        |
| 21      | МАКИЯЖ-Незаметный                  |
| 22      | МАКИЯЖ-Заметный                    |
| 23      | МАКИЯЖ-Отсутствует                 |
| 24      | СОБСТВЕННОСТЬ-автомобиль           |
| 25      | СОБСТВЕННОСТЬ-ничего нет           |
| 26      | СОБСТВЕННОСТЬ-квартира             |
| 27      | СОБСТВЕННОСТЬ-компьютер            |
| 28      | СОБСТВЕННОСТЬ-телефон              |
| 29      | ПОСЕЩАЕМОСТЬ ЗАНЯТИЙ-Очень хорошая |
| 30      | ПОСЕЩАЕМОСТЬ ЗАНЯТИЙ-Плохая        |
| 31      | ПОСЕЩАЕМОСТЬ ЗАНЯТИЙ-Средняя       |
| 32      | ПОСЕЩАЕМОСТЬ ЗАНЯТИЙ-Хорошая       |

Таблица 8.5 – Эвентологическая база данных (обучающая выборка)

| NAME OBJ        | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | N8 | N9 | N10 | N11 | N12 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| Бабенко ПИ-51   | 2  | 5  | 8  | 2  | 8  | 10 | 14 | 18 | 23  | 28  | 31  |
| Воробьева ПИ-51 | 1  | 4  | 8  | 1  | 7  | 11 | 17 | 18 | 23  | 28  | 32  |



|                 |   |   |    |   |   |    |    |    |    |    |    |
|-----------------|---|---|----|---|---|----|----|----|----|----|----|
| Жеребятъев ПИ51 | 2 | 4 | 10 | 3 | 5 | 10 | 14 | 18 | 21 | 28 | 30 |
| Заяц ПИ-51      | 1 | 5 | 8  | 1 | 4 | 11 | 16 | 18 | 21 | 28 | 31 |
| Иванова ПИ-51   | 1 | 3 | 7  | 3 | 8 | 11 | 16 | 18 | 21 | 27 | 32 |
| Котенко ПИ-51   | 1 | 5 | 7  | 2 | 4 | 9  | 16 | 18 | 21 | 28 | 32 |
| Кузина О. ПИ-51 | 1 | 3 | 10 | 2 | 7 | 9  | 15 | 18 | 22 | 28 | 32 |
| Кузина Я. ПИ-51 | 1 | 3 | 10 | 2 | 7 |    | 15 | 19 | 22 |    | 32 |
| Лях ПИ-51       | 2 | 3 | 10 | 2 | 8 | 12 | 17 | 18 | 23 | 28 | 31 |
| Мясников ПИ-51  | 2 | 3 | 9  | 2 | 8 | 10 | 13 | 18 | 23 | 28 | 32 |
| Нагапетян ПИ-51 | 2 | 5 | 9  | 2 | 4 | 9  | 16 | 18 | 21 | 28 | 30 |
| Черкашина ПИ-51 | 1 | 5 | 8  | 1 | 4 | 9  | 17 | 18 | 21 | 28 | 30 |
| Шульгин ПИ-51   | 2 | 4 | 10 | 2 | 8 | 12 | 14 | 19 | 23 | 27 | 30 |
| Веревкина ПИ-52 | 1 | 3 | 9  | 2 | 5 | 12 | 16 | 18 | 21 | 25 | 29 |
| Григорьева ПИ52 | 1 | 5 | 10 | 3 | 8 | 12 | 17 | 18 | 22 | 25 | 29 |
| Еременко ПИ-52  | 1 | 5 | 10 | 3 | 8 | 12 | 16 | 18 | 21 | 28 | 31 |
| Иванова ПИ-52   | 1 | 3 | 9  | 3 | 6 | 10 | 16 | 18 | 23 | 25 | 29 |
| Крейс ПИ-52     | 1 | 5 | 10 | 2 | 8 | 12 | 16 | 20 | 21 | 25 | 32 |
| Куркина ПИ-52   | 1 | 3 | 10 | 1 | 4 | 9  | 16 | 20 | 22 | 28 | 32 |
| Люлик ПИ-52     | 1 | 4 | 10 | 3 | 7 | 11 | 16 | 18 | 22 | 27 | 32 |
| Мануйлов ПИ-52  | 2 | 3 | 7  | 2 | 8 | 12 | 15 | 18 | 23 | 28 | 30 |
| Нарижный ПИ-52  | 2 | 3 | 7  | 2 | 8 | 12 | 15 | 18 | 23 | 28 | 31 |
| Паршакова ПИ-52 | 1 | 6 | 10 | 3 | 4 | 9  | 17 | 20 | 22 | 27 | 32 |
| Силенко ПИ-52   | 2 | 3 | 7  | 2 | 4 | 11 | 17 | 18 | 23 | 25 | 32 |
| Соколова ПИ-52  | 1 | 5 | 10 | 2 | 8 | 11 | 14 | 18 | 22 | 28 | 32 |
| Цисарь ПИ-52    | 1 | 4 | 9  | 3 | 7 | 9  | 17 | 18 | 22 | 28 | 29 |

Отметим, что в приведенном упрощенном численном примере:

– классы, представленные в таблице 3 не являются профессиональными категориями с указанием степени успешности (например: МЕНЕДЖЕР ТОРГОВОГО ЗАЛА – хорошо подходит);

– признаки респондентов, приведенные в таблице 4, не являются их личностными свойствами (например: ФАКТОР А: «ЗАМКНУТОСТЬ – ОБЩИТЕЛЬНОСТЬ» - 8 баллов).

Поэтому от читателя требуется некоторая фантазия, чтобы представить себе, что это так. Но суть примера от этого не меняется, и он позволяет нам проиллюстрировать излагаемые идеи.

Затем в соответствии с этапами АСК-анализа и порядком преобразования данных в информацию, а ее в знания (рисунок 8.2), в режиме 3.5 системы «Эйдос» выполним синтез и верификацию статистических моделей и моделей знаний (рисунки 8.7 – 8.8).

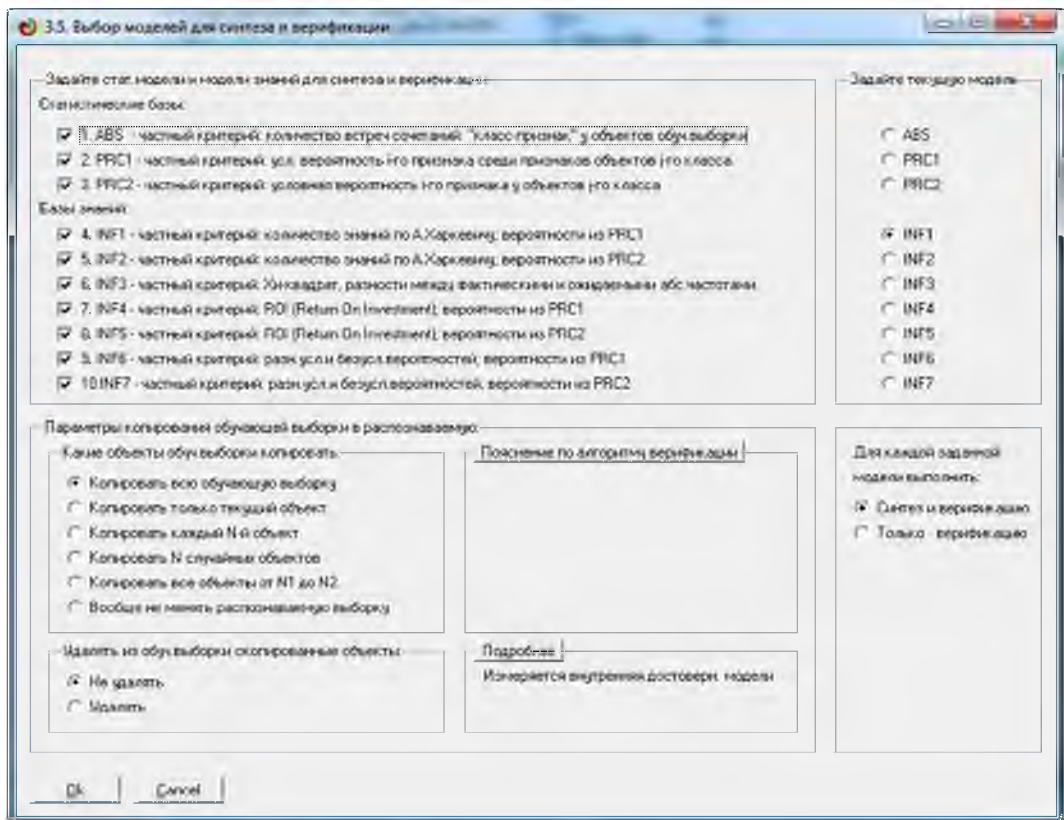


Рисунок 8.7 - Экранная форма задания параметров синтеза и верификации моделей (параметры по умолчанию)

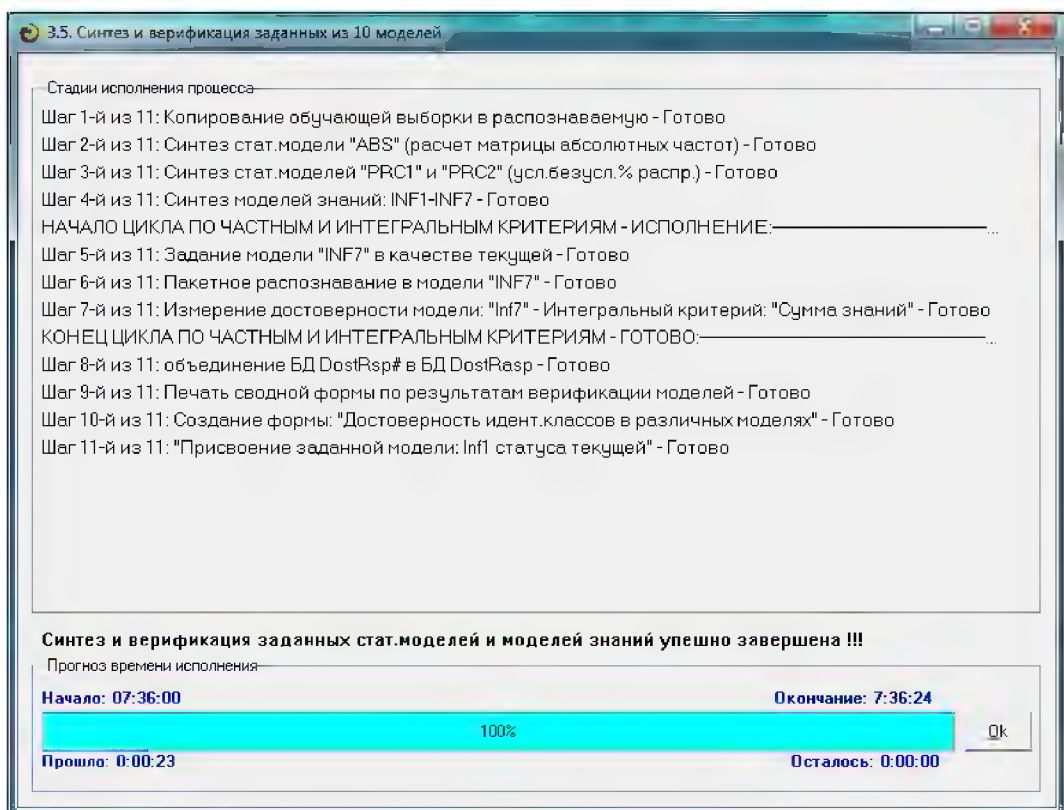


Рисунок 8.8 - Экранная форма с отображением этапов синтеза и верификации моделей

В результате работы режима получены статистические модели и модели знаний и проведена их верификация. Результаты верификации моделей приведены на рисунке 9, а модель знаний INF1 на рисунке 8.10.

4.1.3.6. Обобщ.форма по достов.моделей при разн.инт.крит.. Текущая модель: "INF1"

| Наименование модели и частного критерия                              | Интегральный критерий            | Вероятность правильной идентифика... | Вероятность правильной неидентиф... | Средняя вероятно правильно... | Дата получения результата | Время получения результ... |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                                                                      | Корреляция абс.частот с обр...   | 100,000                              | 14,528                              | 57,264                        | 29.04.2015                | 07:36:07                   |
| 1. ABS - частный критерий: количество встреч сочетаний, "клас...     | Сумма абс.частот по признак...   | 100,000                              | 0,103                               | 50,051                        | 29.04.2015                | 07:36:07                   |
| 2. PRC1 - частный критерий: усл. вероятность н-го признака сред...   | Корреляция усл.отн.частот с о... | 100,000                              | 14,528                              | 57,264                        | 29.04.2015                | 07:36:08                   |
| 2. PRC1 - частный критерий: усл. вероятность н-го признака сред...   | Сумма усл.отн.частот по приз...  | 100,000                              | 0,103                               | 50,051                        | 29.04.2015                | 07:36:08                   |
| 3. PRC2 - частный критерий: условная вероятность н-го признака...    | Корреляция усл.отн.частот с о... | 100,000                              | 14,528                              | 57,264                        | 29.04.2015                | 07:36:12                   |
| 3. PRC2 - частный критерий: условная вероятность н-го признака...    | Сумма усл.отн.частот по приз...  | 100,000                              | 0,103                               | 50,051                        | 29.04.2015                | 07:36:12                   |
| 4. INF1 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу; в...   | Семантический резонанс зна...    | 82,051                               | 85,739                              | 83,895                        | 29.04.2015                | 07:36:13                   |
| 4. INF1 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу; в...   | Сумма знаний                     | 82,051                               | 78,713                              | 80,382                        | 29.04.2015                | 07:36:13                   |
| 5. INF2 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу; в...   | Семантический резонанс зна...    | 82,051                               | 85,739                              | 83,895                        | 29.04.2015                | 07:36:14                   |
| 5. INF2 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу; в...   | Сумма знаний                     | 80,769                               | 79,386                              | 80,077                        | 29.04.2015                | 07:36:14                   |
| 6. INF3 - частный критерий: Хи-квадрат, разности между фактич...     | Семантический резонанс зна...    | 91,026                               | 81,559                              | 86,292                        | 29.04.2015                | 07:36:17                   |
| 6. INF3 - частный критерий: Хи-квадрат, разности между фактич...     | Сумма знаний                     | 91,026                               | 81,559                              | 86,292                        | 29.04.2015                | 07:36:17                   |
| 7. INF4 - частный критерий: ROI (Return On Investment); вероятно...  | Семантический резонанс зна...    | 78,205                               | 91,198                              | 84,701                        | 29.04.2015                | 07:36:18                   |
| 7. INF4 - частный критерий: ROI (Return On Investment); вероятно...  | Сумма знаний                     | 94,872                               | 64,009                              | 79,441                        | 29.04.2015                | 07:36:18                   |
| 8. INF5 - частный критерий: ROI (Return On Investment); вероятно...  | Семантический резонанс зна...    | 78,205                               | 91,249                              | 84,727                        | 29.04.2015                | 07:36:19                   |
| 8. INF5 - частный критерий: ROI (Return On Investment); вероятно...  | Сумма знаний                     | 91,026                               | 61,883                              | 76,455                        | 29.04.2015                | 07:36:19                   |
| 9. INF6 - частный критерий: разн.усл.и безуслов.вероятностей; вер... | Семантический резонанс зна...    | 84,615                               | 84,475                              | 84,545                        | 29.04.2015                | 07:36:19                   |
| 9. INF6 - частный критерий: разн.усл.и безуслов.вероятностей; вер... | Сумма знаний                     | 91,026                               | 68,082                              | 79,554                        | 29.04.2015                | 07:36:19                   |
| 10. INF7 - частный критерий: разн.усл.и безуслов.вероятностей; ве... | Семантический резонанс зна...    | 83,333                               | 83,254                              | 83,294                        | 29.04.2015                | 07:36:23                   |
| 10. INF7 - частный критерий: разн.усл.и безуслов.вероятностей; ве... | Сумма знаний                     | 88,462                               | 65,084                              | 76,773                        | 29.04.2015                | 07:36:23                   |

Помощь

Рисунок 8.9 - Результаты верификации моделей

5.5. Модель: "4. INF1 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу; вероятности из PRC1"

| Код признака | Наименование описательной шкалы и градации | 1 ПОД.К... | 2 ПОЛ.МУ... | 3 ОТКУДА РОДОМ.К... | 4 ОТКУДА РОДОМ.П... | 5 ОТКУДА РОДОМ.Р... | 6 ОТКУДА РОДОМ.С... | 7 УСПЕВАЕ... | 8 УСПЕВАЕ... |
|--------------|--------------------------------------------|------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|
| 1            | ДЛИНА ВОЛОС-Длинные                        | 0,219      |             | -0,280              | 0,170               | 0,176               |                     | 0,800        |              |
| 2            | ДЛИНА ВОЛОС-Короткие                       | -0,208     | 0,243       | 0,137               | -0,462              | 0,006               | 0,161               | -0,386       |              |
| 3            | ДЛИНА ВОЛОС-Средние                        | 0,152      | -0,523      | -0,280              | 0,375               | -0,174              | 0,669               | -0,256       |              |
| 4            | ЦВЕТ ВОЛОС-Каштановые                      | 0,050      | -0,106      | -0,213              |                     | 0,243               | 0,736               | 0,161        |              |
| 5            | ЦВЕТ ВОЛОС-Очень_светлые                   | -0,130     | 0,176       | 0,069               | 0,520               |                     |                     | 0,313        |              |
| 8            | ЦВЕТ ВОЛОС-Очень_темные                    | 0,219      |             | 0,419               |                     |                     |                     |              |              |
| 7            | ЦВЕТ ВОЛОС-Крашенные                       | 0,219      |             | -0,043              | 0,612               |                     |                     | 0,133        |              |
| 8            | ЦВЕТ ВОЛОС-Русые                           | -0,178     | 0,220       | 0,021               | -0,340              | 0,128               | 0,138               | -0,264       |              |
| 8            | ЦВЕТ ГЛАЗ-Карис                            | 0,142      | -0,456      | -0,213              | -0,112              | 0,098               | 0,736               | -0,188       |              |
| 10           | ЦВЕТ ГЛАЗ-Голубые                          | -0,480     | 0,381       | 0,069               | 0,170               | -0,174              |                     | 0,246        |              |
| 11           | ЦВЕТ ГЛАЗ-Зеленые                          | 0,142      | -0,456      | -0,213              | 0,238               | 0,098               | 0,161               | 0,313        |              |
| 12           | ЦВЕТ ГЛАЗ-Серые                            | -0,130     | 0,176       | 0,069               | -0,180              | 0,031               | 0,094               |              |              |
| 13           | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Браслет                  |            | 0,526       | 0,419               |                     |                     |                     |              |              |
| 14           | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Нет                      | -0,480     | 0,381       |                     | 0,520               | 0,176               |                     | 0,246        |              |
| 15           | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Перстень                 | 0,015      | -0,028      | 0,419               |                     |                     | 0,444               |              |              |
| 16           | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Серьги                   | 0,166      | -0,636      | -0,043              | -0,292              | 0,176               | -0,019              | -0,216       |              |
| 17           | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Цепочка                  | 0,074      | -0,174      | -0,023              | -0,034              | -0,028              | 0,464               | 0,094        |              |
| 18           | ОДЕЖДА-Джинсы                              | -0,009     | 0,615       | 0,021               | 0,010               | 0,015               | 0,046               | 0,025        |              |
| 19           | ОДЕЖДА-Пиджак                              | -0,032     | 0,064       | 0,161               | 0,058               | -0,286              |                     |              |              |

Помощь MS Excel MS Word

Рисунок 8.10 - Модель знаний INF1 (фрагмент)

Созданные модели, наименования которых приведены на рисунке 7, отличающиеся частными критериями, приведенными в таблице 1, и

представляют собой результат *многопараметрической типизации* состояний объектов обучающей выборки, описанных в исходных данных. Это и есть решение 1-й части задачи 1. По сути, *это и есть профессиограммы или ключи теста на профессиональную пригодность, созданного в инновационной интеллектуальной технологии «Эйдос».*

Решение 2-й части задачи 1 состоит в системной идентификации состояний объектов, т.е. в сравнении конкретных образов объектов с обобщенными образами классов, сформированными на предыдущем этапе.

Перед тем, как привести выходные формы, отражающие результаты системной идентификации, сделаем текущей модель INF1 и проведем в ней эту системную идентификацию (рисунки 8.11 – 8.12).

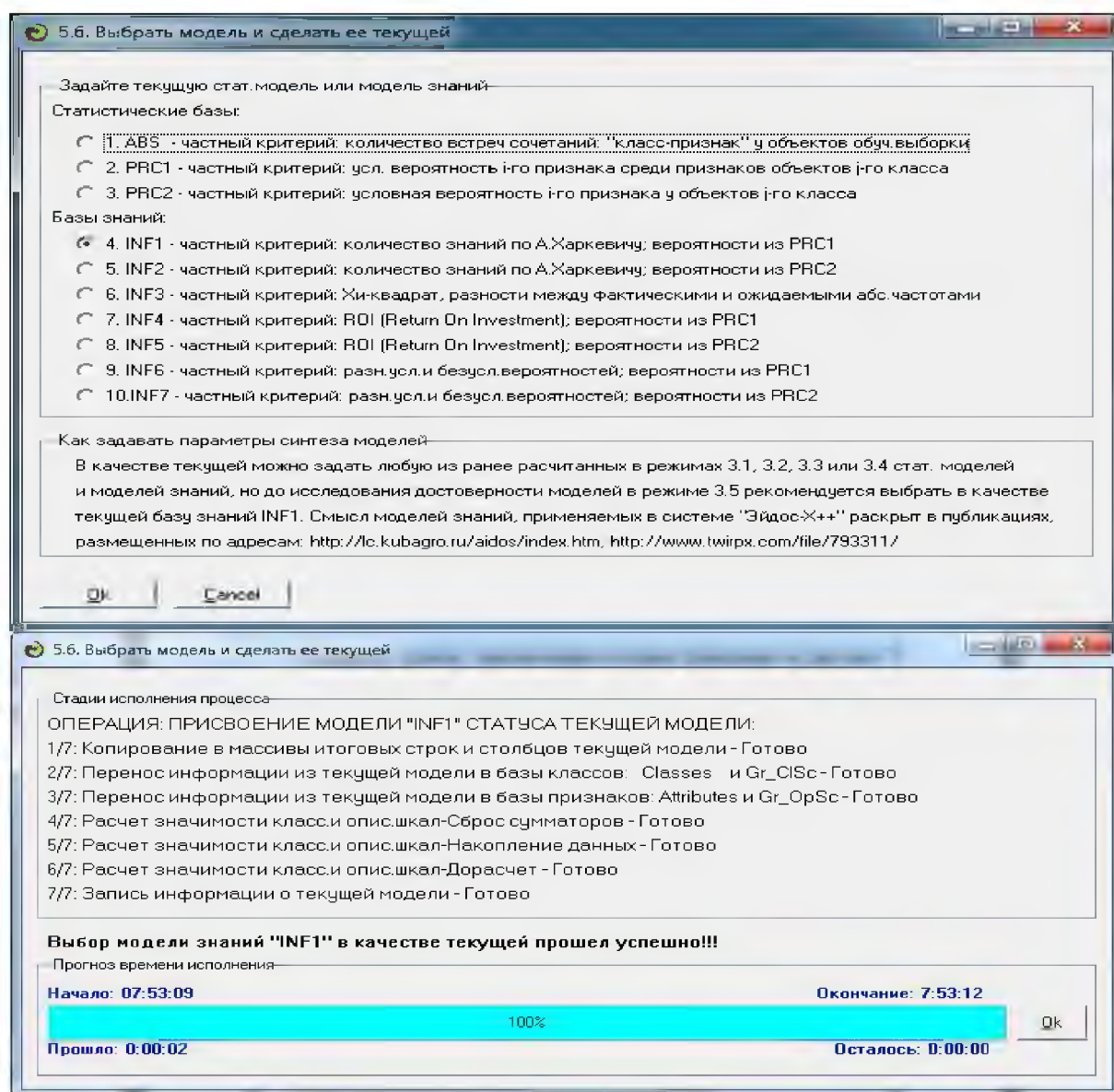


Рисунок 8.11 - Выбор модели и присвоение ей статуса текущей



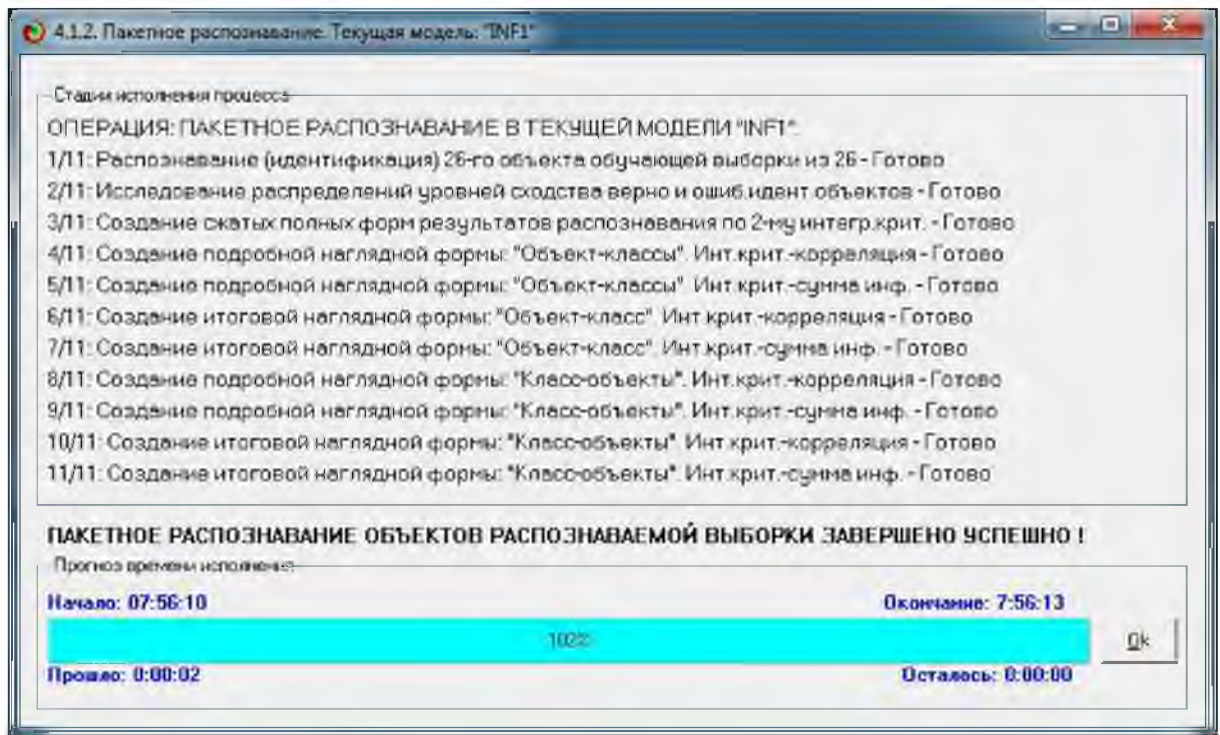


Рисунок 8.12 - Отображения процесса системной идентификации

На рисунках 8.13 – 8.14 приведены примеры экранных форм с результатами системной идентификации. Рисунок 8.13 дает информацию для работодателя, проводящего исследование конкретного кандидата на работу, а рисунок 8.14 – проводящего массовое обследование кандидатов:

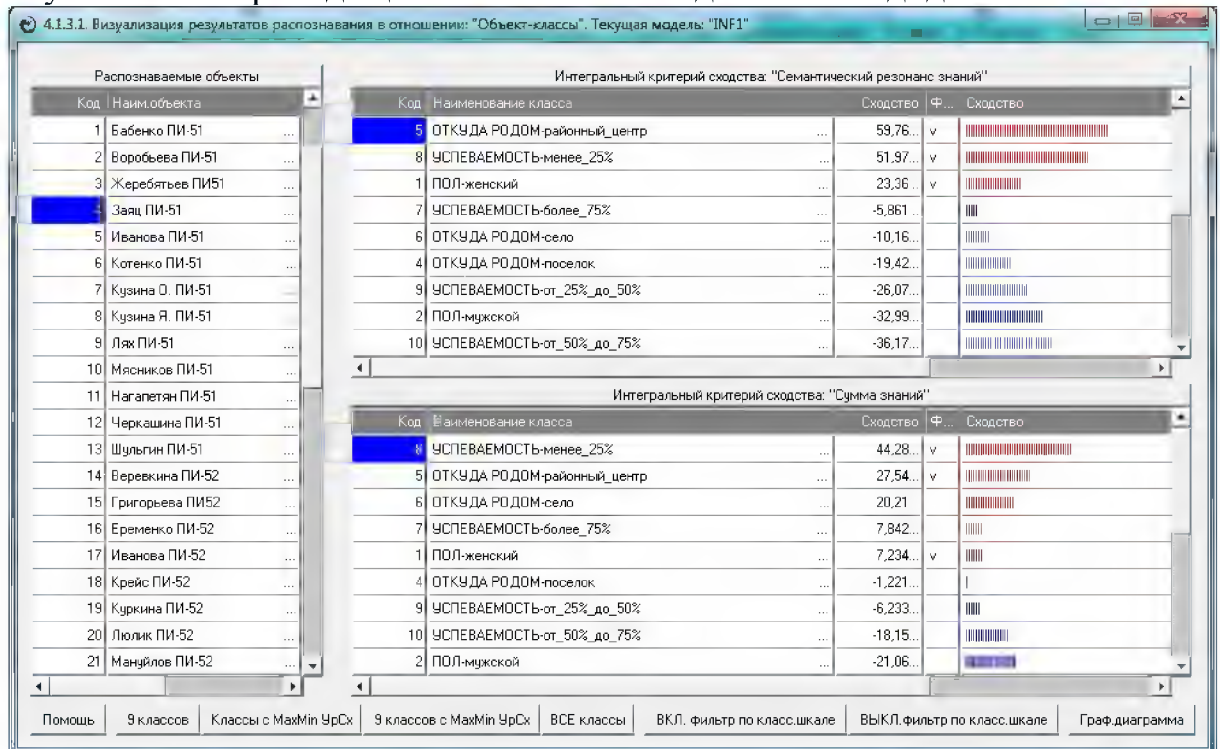


Рисунок 8.13 - Результаты системной идентификации конкретного респондента с классами

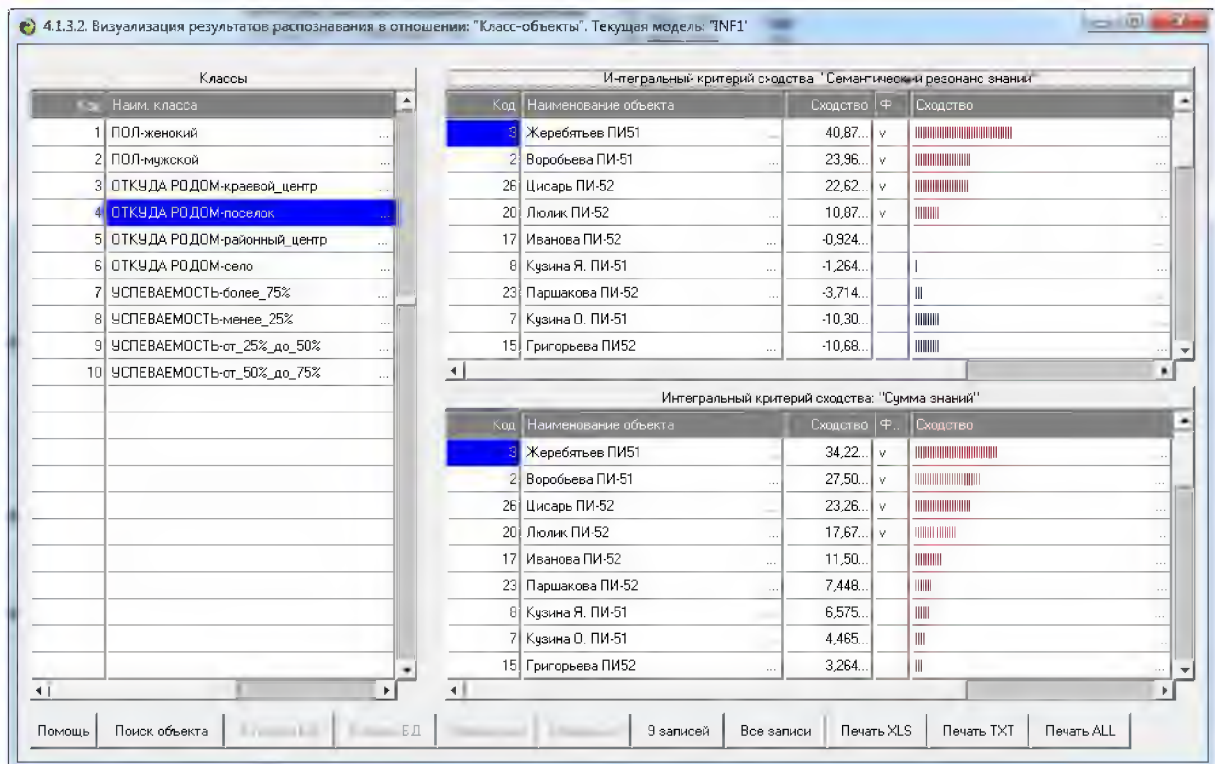


Рисунок 8.14 - Результаты системной идентификации конкретного класса с респондентами

При этом достоверность системной идентификации с применением различных моделей в модели в системе «Эйдос» оценивается с помощью предложенной автором метрики, по смыслу сходной с F-критерием (рисунок 8.15).

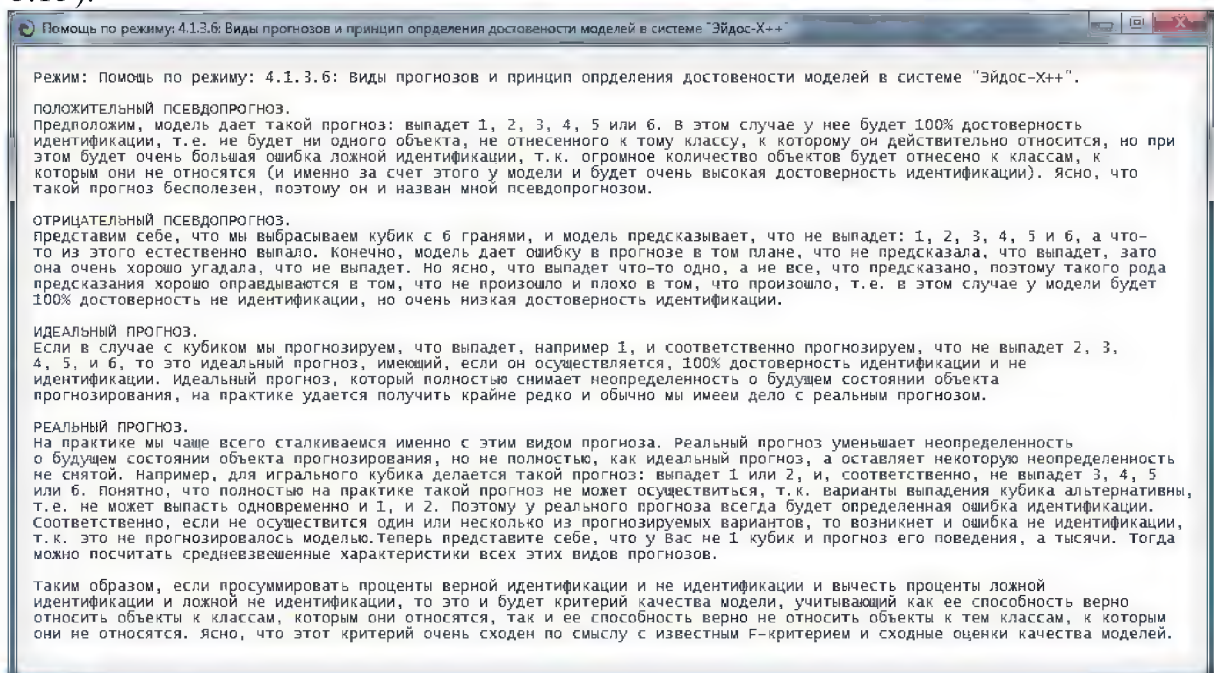


Рисунок 8.15 - Принцип оценки достоверности системной идентификации с применением той или иной модели в системе «Эйдос»

### 2.8.4.2.2 Метризация шкал – решение проблемы сопоставимости при системной идентификации

Как показано выше, в АСК-анализе проводится *последовательное повышение степени формализации исходных данных до уровня, обеспечивающего их обработку на компьютере в программной системе*. После выполнения когнитивной структуризации и формализации предметной области осуществляется синтез статистических моделей и моделей знаний, в которых все шкалы, в которых описаны исходные данные, преобразуются к одному типу: числовому, и к одним единицам измерения: единицам измерения информации, т.е. проводится метризация шкал. В настоящее время в системе «Эйдос» применяется 7 способов метризации шкал (таблица 1).

В работе [17] сформулированы **требования** к форме представления данных, информации и знаний, позволяющие оценить *степень их пригодности* для решения задач системной идентификации, прогнозирования и принятия решений, а также исследования предметной области (например, кластерного анализа).

Прежде всего, результаты решения вышеперечисленных задач должны быть **инвариантны** относительно:

- *единиц измерения* градаций факторов (признаков);
- *типов шкал*, используемых для формализации классов и факторов (номинальные, порядковые и числовые);
- *различных статистических характеристик исходной выборки*: частотных распределений объектов по классам (обобщенным категориям), частотных распределений градаций факторов, различий в количестве признаков в описаниях объектов исследуемой выборки, различий в суммарном количестве признаков по классам.

Кроме того, форма представления должна обеспечивать решение вышеперечисленных задач с минимальными дополнительными затратами ручного труда, а это значит, что *вся предварительная обработка должна быть максимально автоматизирована*.

Эти требования можно рассматривать и как *критерии* выбора наиболее подходящей для решения вышеперечисленных задач формы представления данных, информации и знаний.

Рассмотрим **влияние единиц измерения в исходной выборке на результаты решения задач** прогнозирования и принятия решений, а также исследования предметной области (например, кластерного анализа).

Если в исходных данных какие-то значения выражены в больших единицах измерения, то их числовые значения будут малыми, и наоборот, если единицы измерения мелкие, то числовые значения – большие. Большие значения оказывают большее влияние на результаты математической обработки, чем малые, и *это приводит к возникновению зависимости результатов решения задач системной идентификации, прогнозирования и принятия решений, а также кластерного анализа, от выбранных размерностей* исходных данных, что, на взгляд автора, совершенно

*неприемлемо и указывает на то, что такое решение нельзя признать корректным и даже вообще решением.*

По этой же причине некорректно совместно обрабатывать сами исходные данные, представленные в **различных** единицах измерения (натуральных или ценовых), например, складывать расстояния, представленные в километрах и в метрах, а затем прибавлять к ним тонны и килограммы, а затем еще и безразмерные величины. Вроде это очевидно, но, как это ни удивительно, но как показывает опыт на практике это довольно часто делается, а потом еще на основе подобного «анализа» делаются и выводы. Очень странно, что обычно на это *не обращают никакого внимания* при использовании исходных данных, представленных в различных единицах измерения. Например, даже в таких популярных (причем, совершенно заслуженно) системах, как SPSS и Статистика, в подсистеме кластерного анализа приводятся примеры кластерного анализа над исходными данными, представленными в различных единицах измерения.

В АСК-анализе факторы формально описываются шкалами, а значения факторов – градациями шкал. Существует три основных группы факторов: физические, социально-экономические и психологические (субъективные) и в каждой из этих групп есть много различных видов факторов, т.е. есть много различных физических факторов, много социально-экономических и много психологических, но в АСК-анализе все они рассматриваются *с одной единственной точки зрения: сколько информации содержится в их значениях о переходе объекта, на который они действуют, в определенное состояние, и при этом сила и направление влияния всех значений факторов на объект измеряется в одних общих для всех факторов единицах измерения: единицах количества информации.* Именно по этой причине вполне корректно складывать (в аддитивных интегральных критериях) силу и направление влияния всех действующих на объект значений факторов, независимо от их природы, и определять результат *совместного* влияния на объект *системы* значений факторов. При этом в общем случае объект является *нелинейным* и факторы внутри него взаимодействуют друг с другом, т.е. для них не выполняется принцип суперпозиции [5].

На рисунке 8.16 приведен пример метризованной номинальной шкалы в модели INF1. По сути это и есть профессиограмма, сформированная в среде инновационной интеллектуальной технологии «Эйдос»:



4.2.1. Информационные портреты классов

Инф. портрет класса: 3 "ОТКУДА РОДОМ-красной\_центр" в модели: 4 "INF1"

| Код | Наименование класса         | Код | Наименование признака      | Значимость |
|-----|-----------------------------|-----|----------------------------|------------|
| 1   | ПОЛ-женский                 | 6   | ЦВЕТ ВОЛОС-Очень_темные    | 0.419      |
| 2   | ПОЛ-мужской                 | 13  | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Браслет  | 0.419      |
| 3   | ОТКУДА РОДОМ-красной_центр  | 15  | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Перстень | 0.419      |
| 4   | ОТКУДА РОДОМ-поселок        | 23  | МАКИЯЖ-Отсутствует         | 0.215      |
| 5   | ОТКУДА РОДОМ-районный_центр | 24  | СОБСТВЕННОСТЬ-автомобиль   | 0.215      |
| 6   | ОТКУДА РОДОМ-село           | 19  | ОДЕЖДА-Пиджак              | 0.161      |
| 7   | УСПЕВАЕМОСТЬ-более_75%      | 2   | ДЛИНА ВОЛОС-Короткие       | 0.137      |
| 8   | УСПЕВАЕМОСТЬ-менее_25%      | 5   | ЦВЕТ ВОЛОС-Очень_светлые   | 0.069      |
| 9   | УСПЕВАЕМОСТЬ-от_25%_до_50%  | 10  | ЦВЕТ ГЛАЗ-Голубые          | 0.069      |
| 10  | УСПЕВАЕМОСТЬ-от_50%_до_75%  | 12  | ЦВЕТ ГЛАЗ-Серые            | 0.069      |
|     |                             | 8   | ЦВЕТ ВОЛОС-Русые           | 0.021      |
|     |                             | 18  | ОДЕЖДА-Джинсы              | 0.021      |
|     |                             | 17  | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Цепочка  | -0.023     |
|     |                             | 7   | ЦВЕТ ВОЛОС-Крашенные       | -0.043     |
|     |                             | 16  | НАЛИЧИЕ УКРАШЕНИЙ-Серьги   | -0.043     |
|     |                             | 22  | МАКИЯЖ-Заметный            | -0.076     |
|     |                             | 20  | ОДЕЖДА-Юбка                | -0.135     |
|     |                             | 4   | ЦВЕТ ВОЛОС-Каштановые      | -0.213     |
|     |                             | 9   | ЦВЕТ ГЛАЗ-Карие            | -0.213     |
|     |                             | 11  | ЦВЕТ ГЛАЗ-Зеленые          | -0.213     |
|     |                             | 1   | ДЛИНА ВОЛОС-Длинные        | -0.280     |
|     |                             | 3   | ДЛИНА ВОЛОС-Средние        | -0.280     |
|     |                             | 21  | МАКИЯЖ-Незаметный          | -0.340     |

Помощь Abs Prc1 Prc2 Inf1 Inf2 Inf3 Inf4 Inf5 Inf6 Inf7 MS Excel ВКЛ. фильтр по фактору ВЫКЛ. фильтр по фактору Вписать в окно Показать ВСЕ

Рисунок 8.16 - Пример метризованной номинальной шкалы (профессиограммы) в модели INF1

### 2.8.4.3 Решение 2-й задачи – принятия решений об управляющем воздействии так изменяющем состав объекта управления, чтобы его качество максимально повышалось при минимальных затратах на это

Для решения 2-й задачи предлагается применить выбор компонент объекта управления по их функциональному назначению с учетом ресурсов, выделенных на реализацию различных функций, затрат, связанных с выбором тех или иных компонентов и степени соответствия различных компонент их функциональному назначению. Фактически предлагается формулировка и решение нового обобщенного варианта задачи о назначениях: «Мультипликативный рюкзак», отличающегося от известного тем, что назначения производится не только с учетом ресурсов и затрат, но и с учетом степени соответствия компонент их функциональному назначению, которое предварительно определяется в самой задаче.

Математическая модель, обеспечивающая решение 1-й задачи и отражающая степень соответствия компонент их функциональному назначению, а также весь процесс принятия решений по назначениям, т.е. 2-я задача, реализованы в АСК-анализе и системе «Эйдос-X++».

#### 2.8.4.3.1 Интегральные критерии системы «Эйдос»

В результате проведения в метризации шкал, т.е. их преобразования независимо от исходного типа к одному типу: числовому, и независимо от исходных единиц измерения к одним единицам измерения: количеству информации, становится возможным корректно совместно обрабатывать результаты формализации описаний исходных данных в этих шкалах и использовать при этом все арифметические операции, в т.ч. сложение [17].

Это позволяет использовать аддитивные интегральные критерии и обоснованно ответить на следующий вопрос. Если нам известно, что объект обладает не одним, а несколькими признаками, то как посчитать их *общий* вклад в сходство с теми или иными классами?

Для этого в системе «Эйдос» используется 2 аддитивных<sup>137</sup> интегральных критерия: «Сумма знаний» и «Семантический резонанс знаний».

Интегральный критерий «Семантический резонанс знаний» представляет собой суммарное количество знаний, содержащееся в системе факторов различной природы, характеризующих сам объект управления, управляющие факторы и окружающую среду, о переходе объекта в будущие целевые или нежелательные состояния.

#### 2.8.4.3.3 Численный пример решения 2-й задачи

Интегральный критерий представляет собой аддитивную функцию от частных критериев знаний:

$$I_j = (\overset{P}{I}_{ij}, \overset{P}{L}_i). \quad (8.1)$$

В выражении круглыми скобками обозначено скалярное произведение. В координатной форме это выражение имеет вид:

$$I_j = \sum_{i=1}^M I_{ij} L_i, \quad (8.2)$$

где:  $M$  – количество градаций описательных шкал (признаков);

$\overset{P}{I}_{ij} = \{I_{ij}\}$  – вектор состояния  $j$ -го класса;

$\overset{P}{L}_i = \{L_i\}$  – вектор состояния распознаваемого объекта, включающий все виды факторов, характеризующих сам объект, управляющие воздействия и окружающую среду (массив–локатор), т.е.:

<sup>137</sup> Т.е. являющихся суммами частных критериев, в отличие от мультипликативных интегральных критериев, которые являются произведениями частных критериев. На самом деле различие аддитивных и мультипликативных интегральных критериев не так велико, как может показаться на первый взгляд, т.к. они аддитивный интегральный критерий по сути является логарифмом мультипликативного. Иначе говоря это один и тот же критерий, но в разных шкалах: линейной и логарифмической.

$$L_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й фактор действует;} \\ n, & \text{где } n > 0, \text{ если } i\text{-й фактор действует с истинностью } n, \\ 0, & \text{если } i\text{-й фактор не действует.} \end{cases}$$

В текущей версии системы «Эйдос-Х++» значения координат вектора состояния распознаваемого объекта принимались равными либо 0, если признака нет, или  $n$ , если он присутствует у объекта с интенсивностью  $n$ , т.е. представлен  $n$  раз (например, буква «о» в слове «молоко» представлена 3 раза, а буква «м» - один раз).

Интегральный критерий «Семантический резонанс знаний» представляет собой *нормированное* суммарное количество знаний, содержащееся в системе факторов различной природы, характеризующих сам объект управления, управляющие факторы и окружающую среду, о переходе объекта в будущие целевые или нежелательные состояния.

Интегральный критерий представляет собой аддитивную функцию от частных критериев знаний имеет вид:

$$I_j = \frac{1}{\sigma_I \sigma_L M} \sum_{i=1}^M (I_{ij} - \bar{I}_j) (L_i - \bar{L}), \quad (8.3)$$

где:

$M$  – количество градаций описательных шкал (признаков);

$\bar{I}_j$  – средняя информативность по вектору класса;

$\bar{L}$  – среднее по вектору объекта;

$\sigma_I$  – среднеквадратичное отклонение частных критериев знаний вектора класса;

$\sigma_L$  – среднеквадратичное отклонение по вектору распознаваемого объекта.

$\overset{P}{I}_{ij} = \{I_{ij}\}$  – вектор состояния  $j$ -го класса;

$\overset{P}{L}_i = \{L_i\}$  – вектор состояния распознаваемого объекта, включающий все виды факторов, характеризующих сам объект, управляющие воздействия и окружающую среду (массив-локатор), т.е.:

$$L_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й фактор действует;} \\ n, & \text{где } n > 0, \text{ если } i\text{-й фактор действует с истинностью } n, \\ 0, & \text{если } i\text{-й фактор не действует.} \end{cases}$$

В текущей версии системы «Эйдос-Х++» значения координат вектора состояния распознаваемого объекта принимались равными либо 0, если признака нет, или  $n$ , если он присутствует у объекта с интенсивностью  $n$ , т.е.

представлен  $n$  раз (например, буква «о» в слове «молоко» представлена 3 раза, а буква «м» - один раз).

Приведенное выражение для интегрального критерия «*Семантический резонанс знаний*» получается непосредственно из выражения для критерия «*Сумма знаний*» после замены координат перемножаемых векторов их стандартизированными значениями:

$$I_{ij} \rightarrow \frac{I_{ij} - \bar{I}_j}{\sigma_j}, \quad L_i \rightarrow \frac{L_i - \bar{L}}{\sigma_l}. \quad (8.4)$$

Свое наименование интегральный критерий сходства «*Семантический резонанс знаний*» получил потому, что по своей математической форме является корреляцией двух векторов: состояния  $j$ -го класса и состояния распознаваемого объекта.

#### 2.8.4.3.2 Алгоритм решения 2-й задачи

Алгоритм назначения объектов на наиболее подходящие классы с учетом ресурсов классов, затрат на объекты и степени соответствия объектов классам состоит в том, что назначаем текущий объект на тот класс, удельное сходство с которым максимально, при условии, что у данного класса есть для этого ресурсы, и делать это до тех пор, пока есть классы с ресурсами и назначены не все объекты. Каждый объект назначать только один раз (рисунок 17).

В режиме 2.3.2.2 системы «Эйдос» (рисунки 3, 4, 5 и 6) осуществляется *нормализация* базы исходных данных (таблица 2) путем автоматической разработки классификационных и описательных шкал и градаций (таблицы 3 и 4) и кодирования с их использованием исходных данных и представления их в форме эвентологической базы данных (обучающей выборки) (таблица 5):

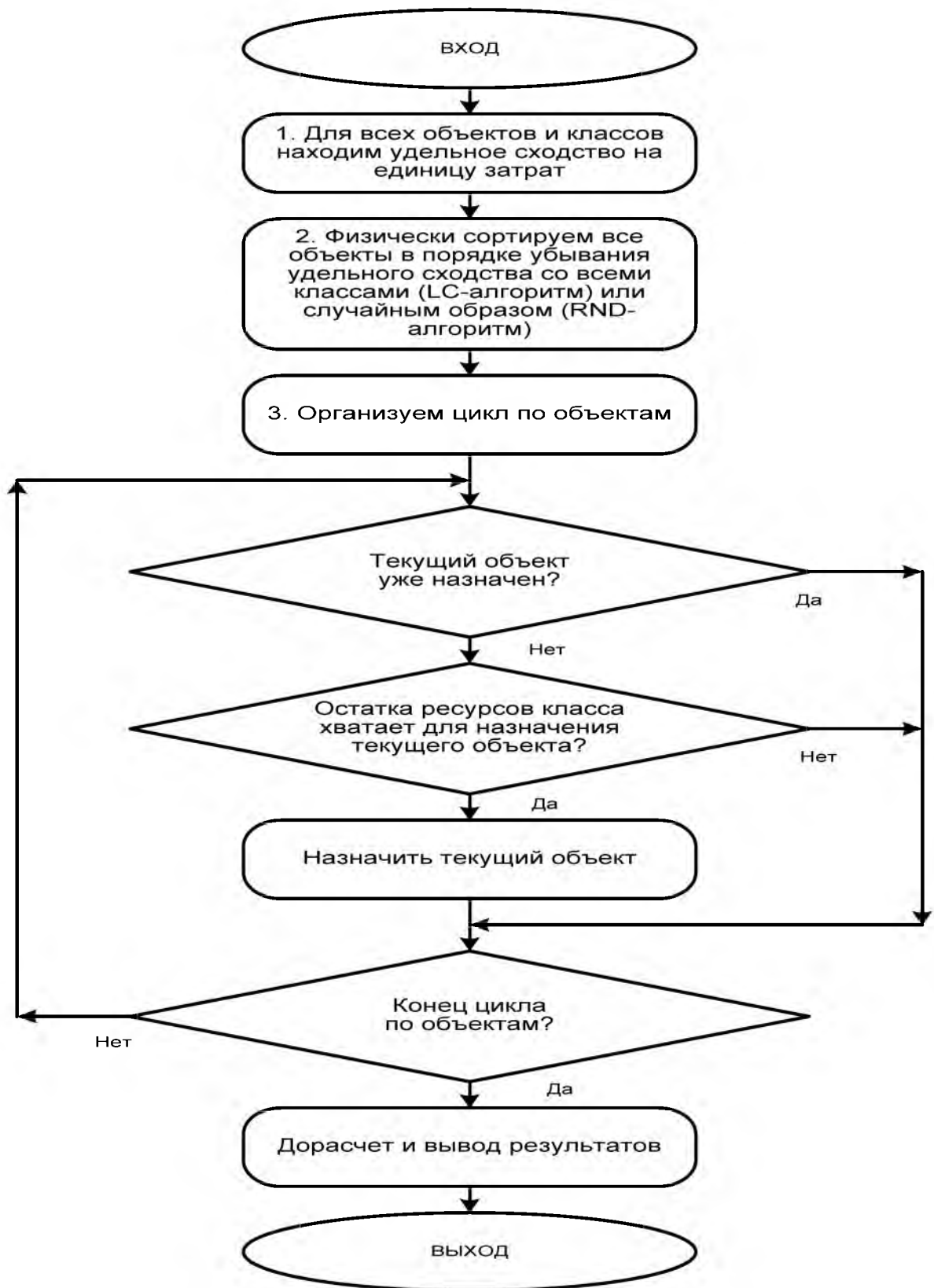


Рисунок 8.17 - Алгоритм назначения объектов на наиболее подходящие классы с учетом ресурсов классов, затрат на объекты и степени соответствия объектов классам (опции: «Назначать не более 1 объекта на класс» и «Назначать только ранее не назначенные объекты» отключены)

Рассмотрим численный пример применения данного алгоритма.

Запустим режим 4.1.6 системы «Эйдос»: «Рациональное назначение объектов на классы (задача о ранце)» (Управление персоналом на основе АСК-анализа и функционально-стоимостного анализа (задача о назначениях)) (рисунок 8.18):

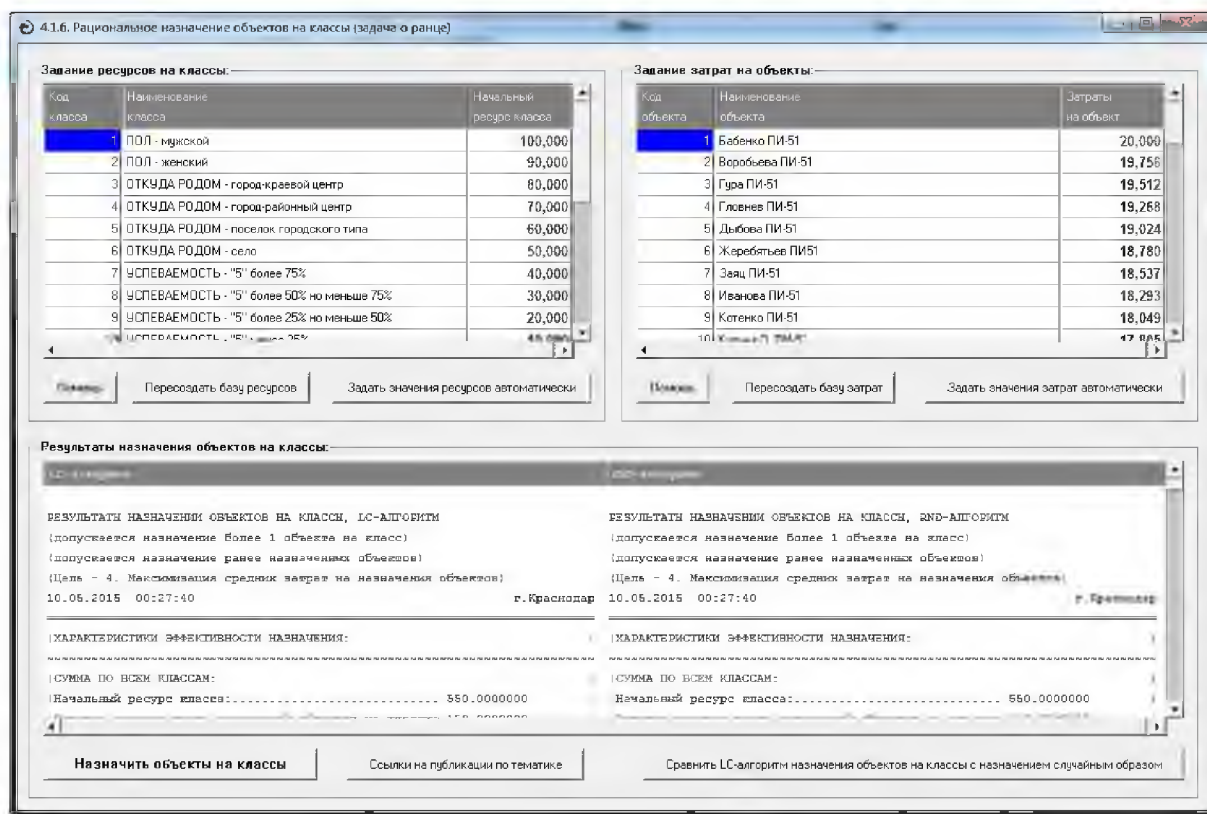


Рисунок 8.18 - Главная экранная форма режима: 4.1.6. Рациональное назначение объектов на классы (задача о ранце)

В верхнем левом окне пользователь может пересоздать базу ресурсов классов, а также корректировать ресурсы классов. Это возможно либо вручную, либо автоматически. В первом случае ресурсам присваивается значение по умолчанию. Во втором случае есть несколько вариантов присвоения значений ресурсов классов, которые приведены на рисунке 8.19:

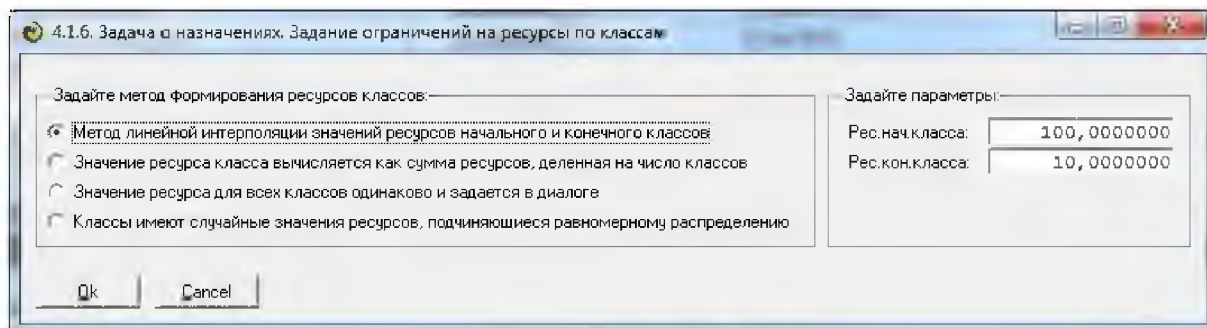


Рисунок 8.19 - Варианты присвоения значений ресурсов классов

В верхнем правом окне пользователь может пересоздать базу затрат на назначение объектов, а также корректировать затраты объектов. Это возможно либо вручную, либо автоматически. В первом случае затратам



присваивается значение по умолчанию. Во втором случае есть несколько вариантов присвоения значений затрат на назначение объектов, которые приведены на рисунке 8.20:

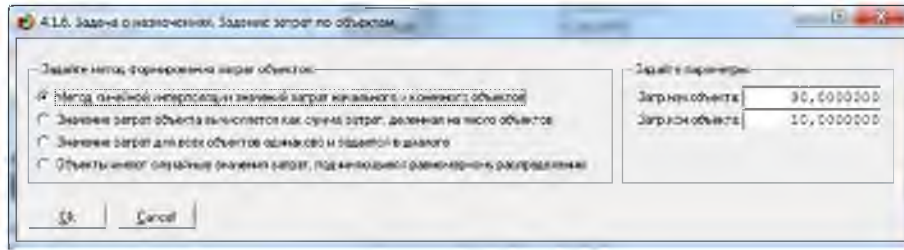


Рисунок 8.20 - Варианты присвоения значений затратам на назначение объектов

Окна помощи для левого и правого окон приведены на рисунке 8.21.

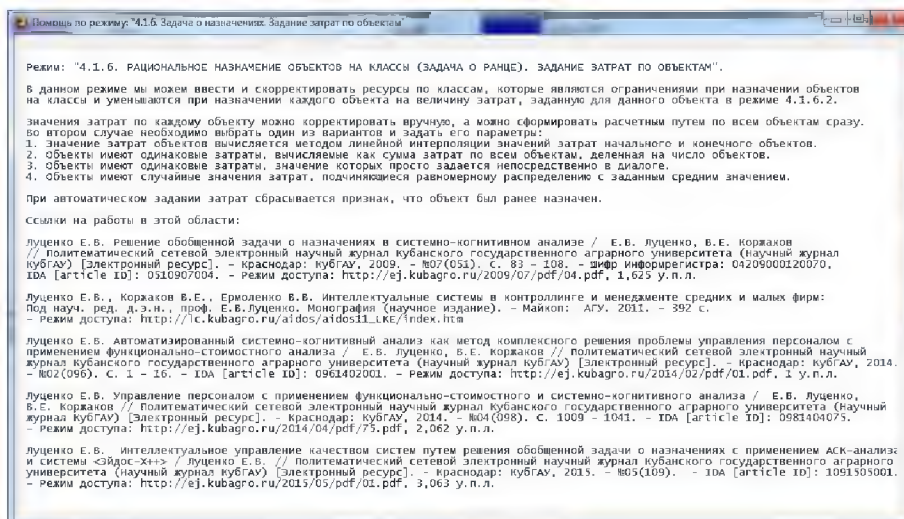
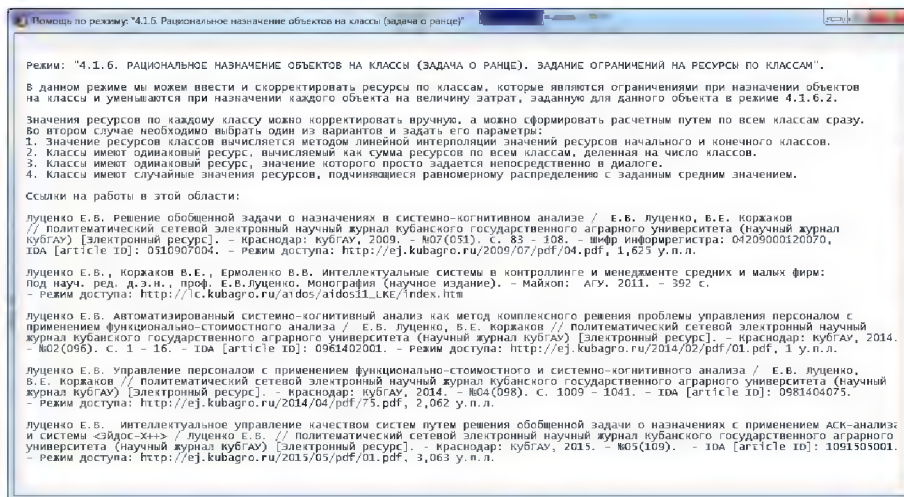


Рисунок 8.21 - Окна помощи для левого и правого окон

При нажатии кнопки «Назначить объекты на классы» появляется окно, позволяющее задать параметры и цель назначения (рисунок 8.22).

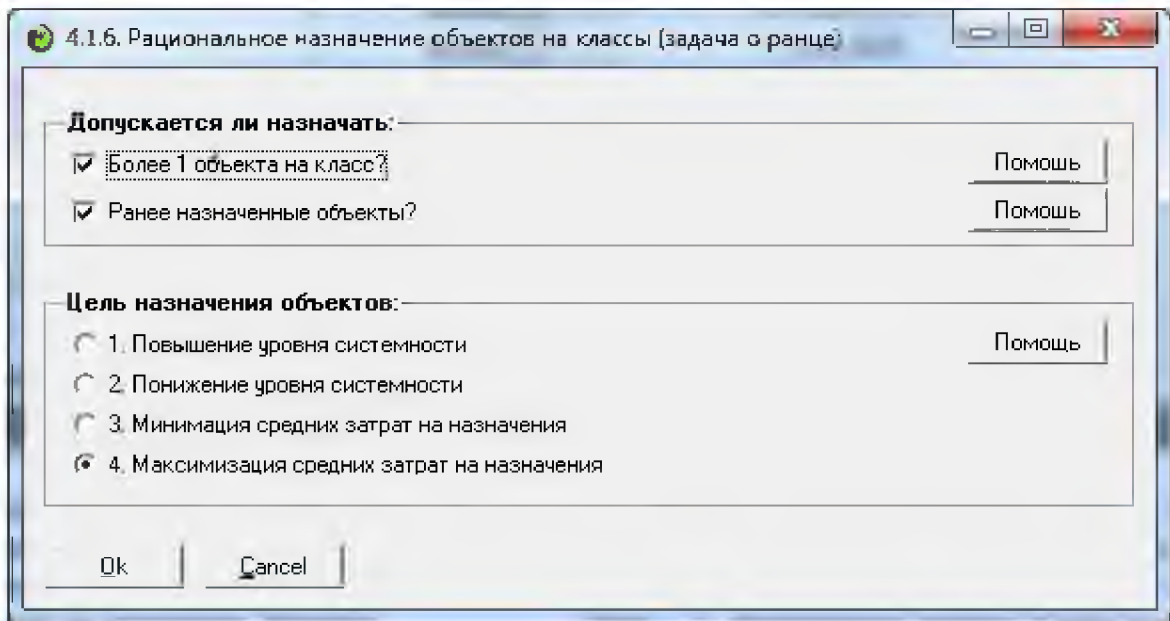


Рисунок 8.22 - Экранная форма задания параметров и цели назначений объектов на классы

Опцию: "Назначать не более 1 объекта на класс", имеет смысл использовать при разумной комплектации какого-либо сложного изделия, например автомобиля, когда каждый элемент комплектации (объект, деталь) назначается на каждую позицию (класс) 1 раз, например 1 инжектор, 1 левая фара, и т.д. С аналогичной ситуацией мы сталкиваемся при назначении кандидатов на такие должности, например, в спортивной команде, на каждой из которых может быть только один человек.

Опция: «Допускается ли назначать ранее назначенные объекты» позволяет подать на назначение не все объекты, а только не назначенные на классы при предыдущих назначениях. Например, если объектов задано значительно больше, чем классов и была задана опция: «Назначать не более 1 объекта на класс», то при каждом последующем назначении будут получаться автомобили со все более высокой себестоимостью и все более низкого качества, собранные из деталей, *отбракованных* при сборке предыдущих автомобилей. То же самое можно сказать об основном и дополнительном составе сборной: во 2-ю сборную входят игроки, не вошедшие в 1-ю, в 3-ю сборную - не вошедшие в 1-ю и 2-ю, и вообще в N-ю - не вошедшие в 1-ю, 2-ю,..., (N-1)-ю.

Если данная опция не установлена, то все объекты считаются ранее не назначенными. Признак, что объект был ранее назначен, сбрасывается, при пересоздании базы затрат и при автоматическом задании затрат. При назначении объектов на классы этот признак устанавливается для назначенных объектов независимо от того, установлена ли опция: "Назначать только ранее не назначенные объекты". Но учитывается этот признак при назначении объектов только в случае, если эта опция установлена.

Опция "Задайте цель управления качеством системы:" позволяет выбрать одну из четырех целей работы LC-алгоритма:



1. Повышение уровня системности.
2. Понижение уровня системности.
3. Минимизация средних затрат на назначения объектов.
4. Максимизация средних затрат на назначения объектов.

Повышение уровня системности обеспечивает максимальное повышение качества системы с минимальными затратами на это.

Понижение уровня системности обеспечивает максимальное понижение качества системы с максимальными затратами на это, что практически означает уничтожение системы (антисистема). Обычно целью управления качеством является повышение уровня системности. Однако точно также, т.е. внедряя в определенную систему элементы, можно не повышать, а понижать ее уровень системности, т.е. по сути, разрушать, уничтожать данную систему (так и определяется понятие антисистемы<sup>138</sup>). Например, 3 грамма спермы повышает уровень системности женского организма за 9 месяцев в 2 раза, а иногда и более, а 3 грамма свинца, движущихся со скоростью звука – за это же время понижают уровень системности того же прекрасного организма практически до уровня окружающей среды (земли). По сути, здесь идет речь об информационном оружии, которое так и может быть определено: *информационное оружие – это такое информационное воздействие на систему, которое понижает ее уровень системности, в т.ч. до уровня окружающей среды, т.е. фактически до полного уничтожения системы и превращения ее в множество исходных элементов* [31-33, 34-41].<sup>139</sup>

Минимизация средних затрат на назначения объектов приводит к назначению максимального количества сотрудников без учета степени их соответствия требованиям должностей с минимальной средней оплатой (всеобщая занятость населения и высокая скрытая безработица). Что-то вроде этого получается при сильной социальной политике.

***Максимизация средних затрат на назначения объектов*** приводит к назначению минимального количества сотрудников без учета степени их соответствия требованиям должностей с максимальной средней оплатой (низкая занятость населения и высокая реальная безработица). Аналогичный подход используется руководством при назначении "своих" людей.

На практике приходится применять все четыре подхода в различных комбинациях в зависимости от обстоятельств. Например, чтобы коллектив выполнял свою функцию, т.е. вообще работал, сначала используется 1-я цель. Но так производятся назначения не на все должности, а в основном на

---

<sup>138</sup> «Антисистемой называется система с отрицательным уровнем системности, т.е. это такое объединение некоторого множества элементов за счет их взаимодействия в целое, которое препятствует достижению целей» [30].

<sup>139</sup> Здесь сразу вспоминается «застойный» анекдот про военный парад, на котором после колонн всех родов войск, десантников, танков, ракет и т.п., и т.д., бодро маршируют не в ногу три толстеньких лысых человека в очках и пиджаках с потертыми на локтях рукавами с толстыми папками бумаг под мышками. Генсек на трибуне Мавзолея грозно спрашивает министра обороны: «А это кто такие????!!!» Министр обороны отвечает: «А это наше самое страшное и самое секретное оружие. Они работают в Госплане. Если их внедрить в Госдеп США, то через год-два у них само все развалится».

исполнительские. После этого для назначения на престижные руководящие и хорошо оплачиваемые должности "своих" людей используется 4-я цель. 2-я цель используется военными и в конкурентной борьбе, а 3-я для того, чтобы не возникло социального бунта при повышении уровня реальной безработицы.

В нижнем окне мы видим результаты назначения объектов на наиболее подходящие классы с учетом ресурсов классов, затрат на объекты и степени соответствия объектов классам, в соответствии с LC-алгоритмом (слева), предложенным автором в работе [15], и классическим для задачи о Мультипликативном рюкзаке RND-алгоритмом (справа), в котором ресурсы классов и затраты на объекты учитываются, а степень соответствия объектов классам не учитывается, т.е. ценность объектов считается независимой от класса и фактически равна затратам на его назначение. По нажатию клавиши выводится более подробная информация о сравнения результатов эффективности LC-алгоритма и RND-алгоритма (рисунок 8.23):

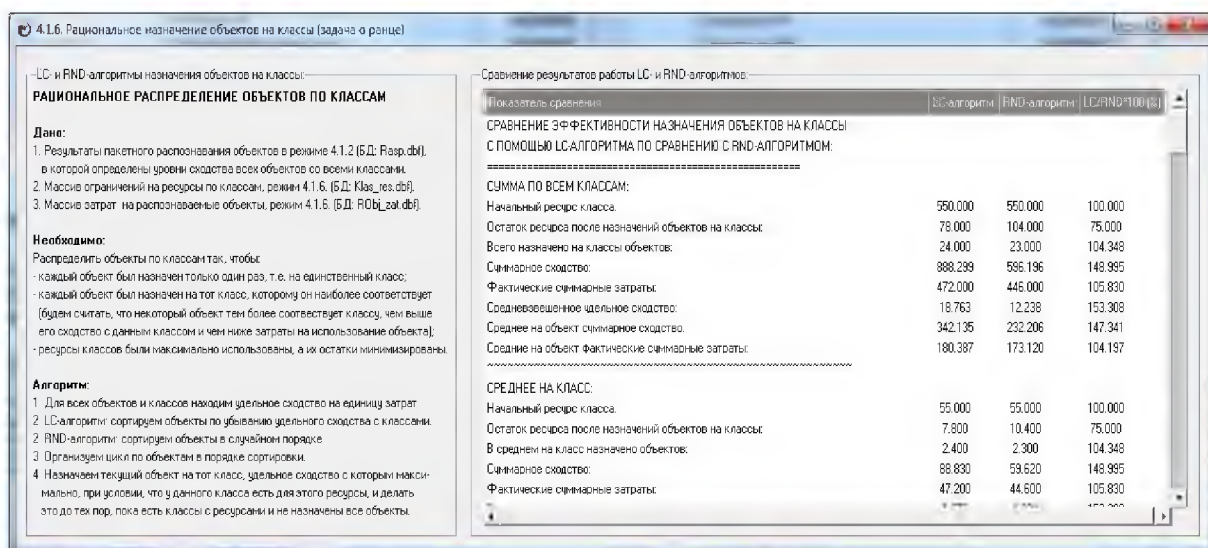


Рисунок 8.23 - Сравнение эффективности LC-алгоритма и RND-алгоритма

Из рисунка 8.23 видно, что при использовании LC-алгоритма при экономии ресурсов 25% среднее сходство объектов с классами возрастает примерно на 50%, если за базу сравнения брать RND-алгоритм. При других исходных данных и параметрах назначения эффективность LC-алгоритма может меняться, но всегда остается значительно более высокой. Чем RND-алгоритма. В этом и состоит актуальность постановки задачи и ее решения, предложенных в данной работе.

#### 2.8.4.3.4 Различие в подходах психолога и руководителя (или экономиста) к назначению и перемещению персонала

Психологи обычно рекомендуют назначать сотрудников на должности, которым они больше всего соответствуют по своим личностным и профессиональным качествам.

Руководители же и экономисты кроме этого еще обязательно учитывают и затраты своих ресурсов на эти назначения, т.е. то, сколько они готовы платить сотруднику за выполнение функциональных обязанностей на этой должности. Фактически руководитель применяет профессиограммы с учетом функционально-стоимостного анализа и метода «Директ-костинг».

Поэтому предлагаемый в работе подход соответствует требованиям руководителя.

Вместе с тем, психологов (специалистов по персоналу) не интересуют финансовые аспекты назначения персонала, то они могут задать на классы практически неограниченные ресурсы, а затраты на назначение для всех респондентов сделать малыми и одинаковыми (например, равными 1). Тогда система просто назначит сотрудников на должности, которым они больше всего соответствуют без учета затрат на это.

Отметим также, что все многочисленные выходные формы записываются в виде файлов Excel- и txt-файлов.

#### **2.8.4.4 Исследование предметной области путем исследования ее модели**

Если модель предметной области адекватна, то ее исследование корректно считать исследованием самой предметной области. В этом случае результаты такого исследования можно считать знаниями не о модели, а о самой предметной области, т.е. можно обоснованно и корректно придать модели онтологический статус.

В АСК-анализе и системе «Эйдос» реализованы многочисленные возможности исследования предметной области путем исследования ее модели. В этом состоит одно из существенных преимуществ инновационной интеллектуальной технологии «Эйдос» от других технологий.

Кратко рассмотрим некоторые из этих возможностей.

##### **2.8.4.4.1 Отображение профессиограмм в форме нелокальных нейронов**

Профессиограммы, могут отображаться не только в форме информационных портретов, пример которого представлен на рисунке 16, но и в форме нелокальных нейронов [28] (рисунок 8.24).

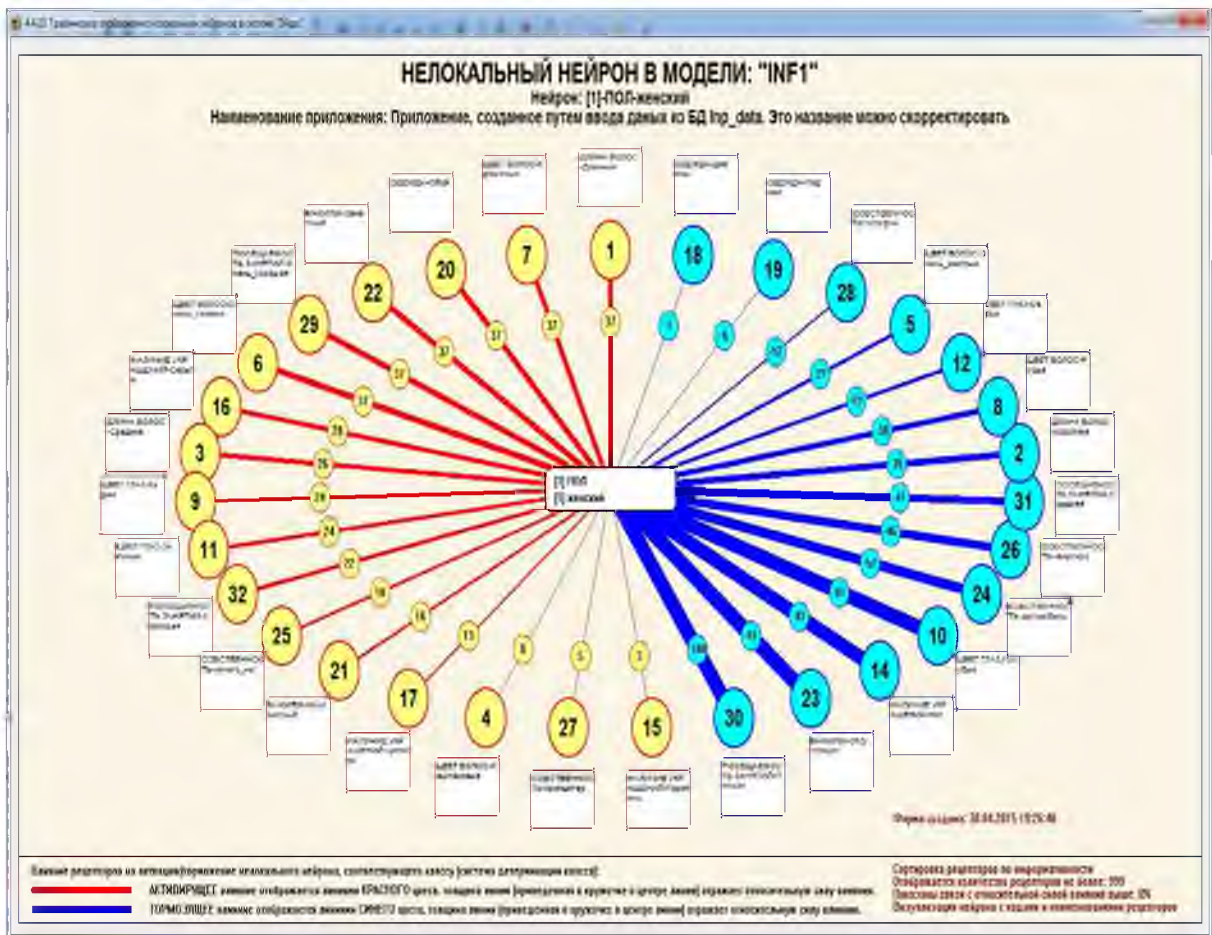


Рисунок 8.24 - Профессиограмма в форме нелокального нейрона

#### 2.8.4.4.2 Взаимозаменяемость сотрудников и ротация по должностям. Кластерно-конструктивный анализ классов и факторов и отображение его результатов в форме когнитивных диаграмм

Некоторые должности предъявляют сходные требования к сотрудникам, а другие сильно различающиеся. Между сходными по требованиям должностями сотрудников можно без особых проблем *перемещать*, т.е. они являются взаимозаменяемыми по этим должностям. Это может пригодиться при выработке рекомендаций руководству и принятии решений о перемещении сотрудников (ротации). Причем эти должности не обязательно находятся на одном иерархическом уровне и имеют одинаковую оплату.

Получить информацию об этом можно путем проведения кластерно-конструктивного анализа, результаты которого выводятся во многих формах, из которых мы здесь приведем только когнитивную диаграмму, отражающую сходство и различие должностей по требованиям к сотрудникам (рисунок 8.25).



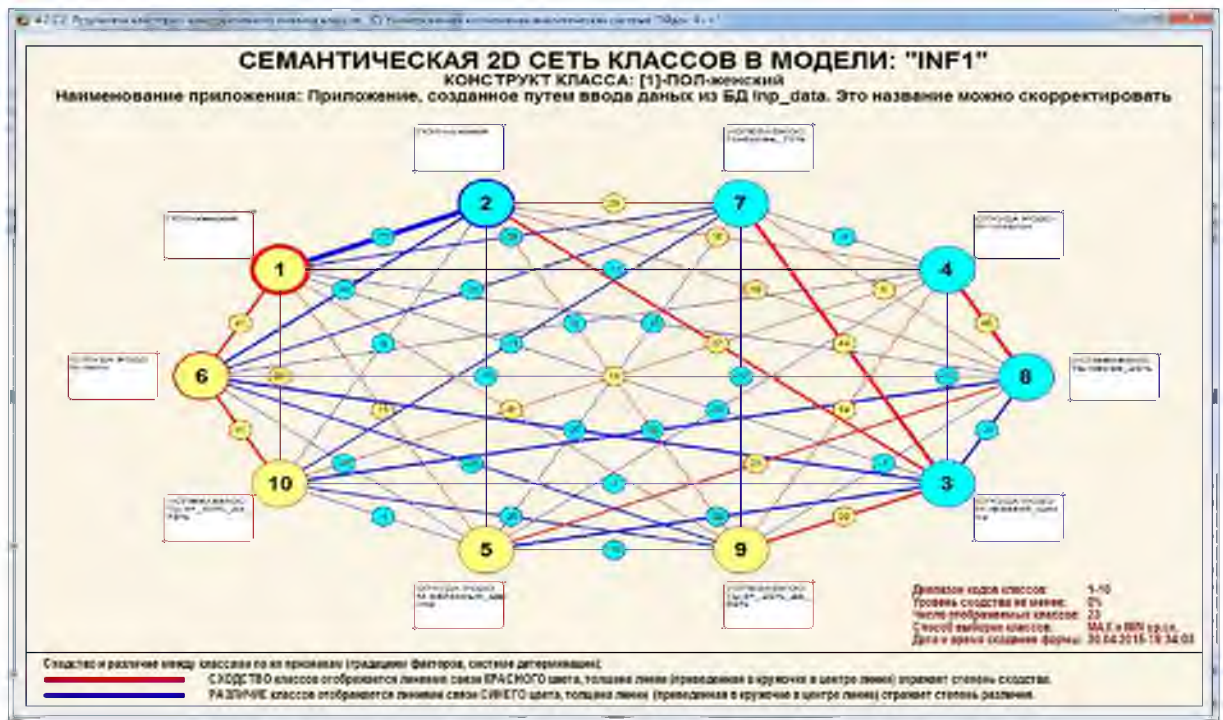


Рисунок 8.25 - Когнитивная диаграмма, отражающая сходство и различие должностей по требованиям к сотрудникам

Некоторые личностные и профессиональные свойства сотрудников сходно влияют на успешность и не успешность и работы по должностям, отражаемым в модели, а другие различно (информация об этом приведена на рисунках 8.26 – 8.27)

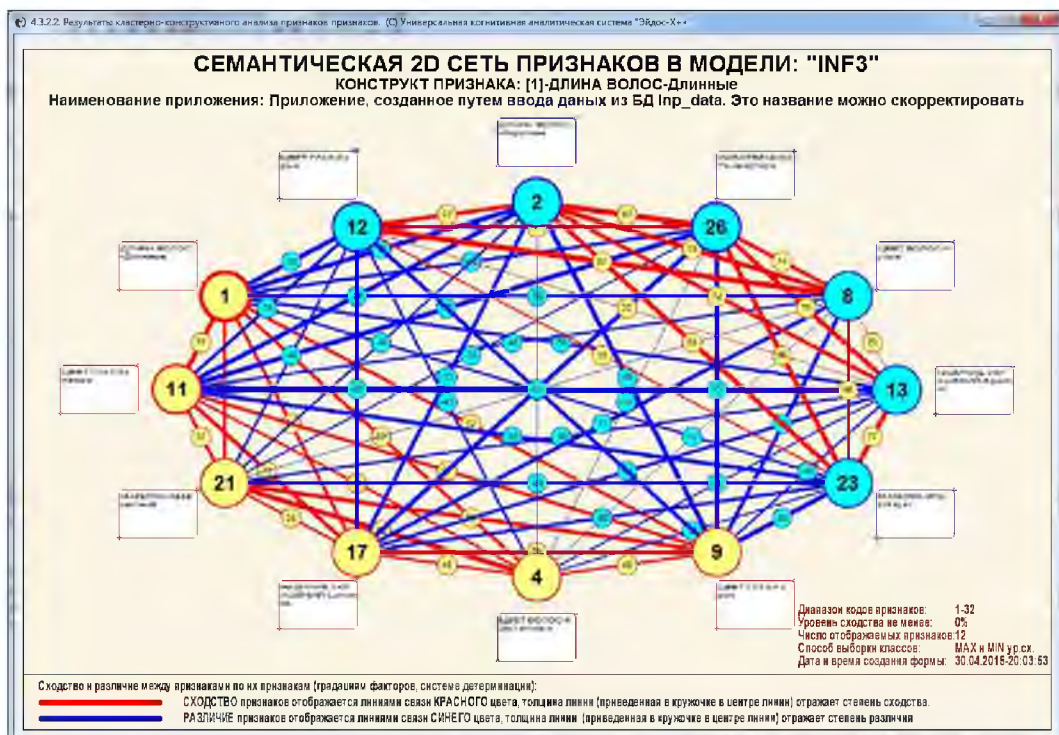


Рисунок 8.26 - Когнитивная диаграмма, отражающая сходство/различие свойств сотрудников по их влиянию на успешность/не успешность работы

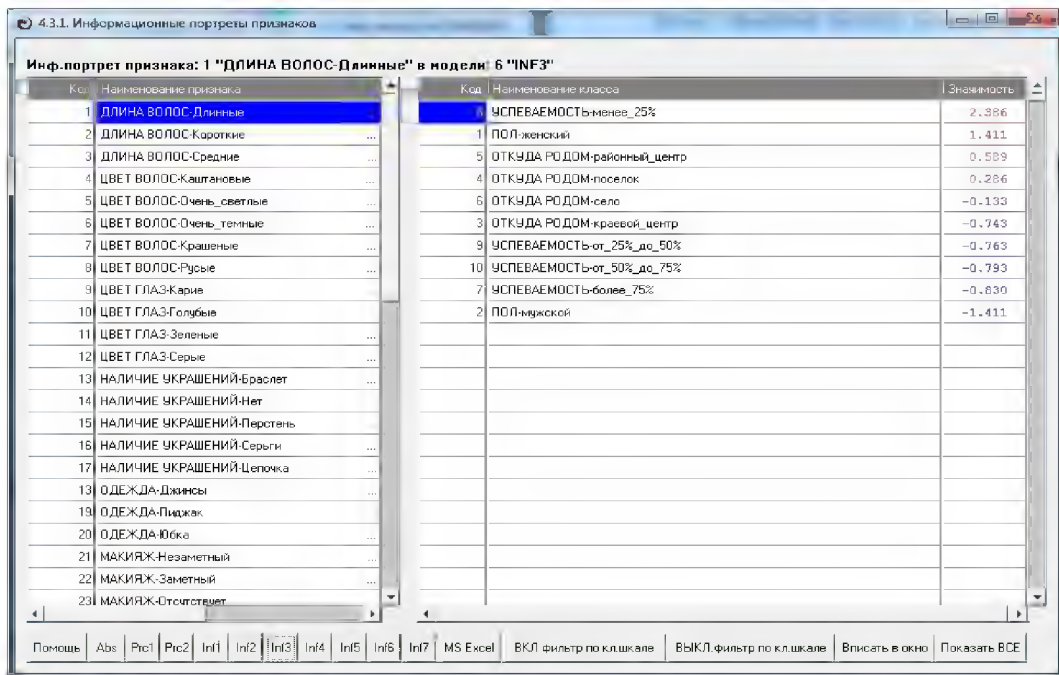


Рисунок 8.27 - Информационный портрет признака, отражающий его влияние на принадлежность / непринадлежность к профессиональным категориям

### 2.8.4.4.3 Содержательное сравнение классов по требованиям, предъявляемым ими к сотрудникам

На рисунке 8.25 мы видим только само сходство/различие профессиональных категорий, но не видим, чем оно обусловлено. На диаграмме, приведенной на рисунке 8.28, мы видим, как образуется любая из линий связи, отображенных на рисунке 8.25:



Рисунок 8.28 - Содержательное сравнение классов по требованиям, предъявляемым ими к сотрудникам

Это означает, что в системе «Эйдос» реализованы опосредованные правдоподобные рассуждения с расчетной степенью истинности.

#### **2.8.4.4 Автоматизированный SWOT- и PEST-анализ, отображение результатов в форме SWOT-диаграмм**

АСК-анализ и его программный инструментарий интеллектуальная система «Эйдос» позволяют строить системно-когнитивные модели, отражающие силу и направление влияния на хозяйственные и финансово-экономические результаты деятельности фирмы различных групп внутренних факторов, а именно:

- психологических факторов, т.е. свойств личности персонала и менеджмента фирмы;
- технологических факторов (АСУ ТП – автоматизированные системы управления технологическими процессами);
- организационные (АСОУ – автоматизированные системы организационного управления);
- социально-экономических факторов;
- финансовых факторов (ФСА – функционально-стоимостной анализ и метод Директ-костинг, т.е. анализ влияния затрат на результаты деятельности).

На основе этих моделей АСК-анализ и система «Эйдос» позволяют выработать научно-обоснованные рекомендации по реинжинирингу бизнес-процессов, т.е. по выбору такой их системы, которая обуславливает переход объекта моделирования и управления в заранее заданные целевые состояния с более высоким уровнем системности, количественно измеряемым с помощью предложенных автором коэффициентов эмерджентности..

Таким образом, автоматизированный системно-когнитивный анализ (АСК-анализ) с его программным инструментарием: интеллектуальной системой «Эйдос», не только имеет более общий характер, чем SWOT- и PEST-анализ, а также функционально-стоимостной анализ (ФСА) и метод Директ-костинг, т.е. включает их возможности, но также и позволяет вырабатывать научно-обоснованные рекомендации по реинжинирингу бизнес-процессов.

В АСК-анализе и системе «Эйдос» реализован автоматизированный SWOT- и PEST-анализ [29], обеспечивающий получение как SWOT-матриц (рисунок 8.29), так и SWOT-диаграмм (рисунок 8.30):



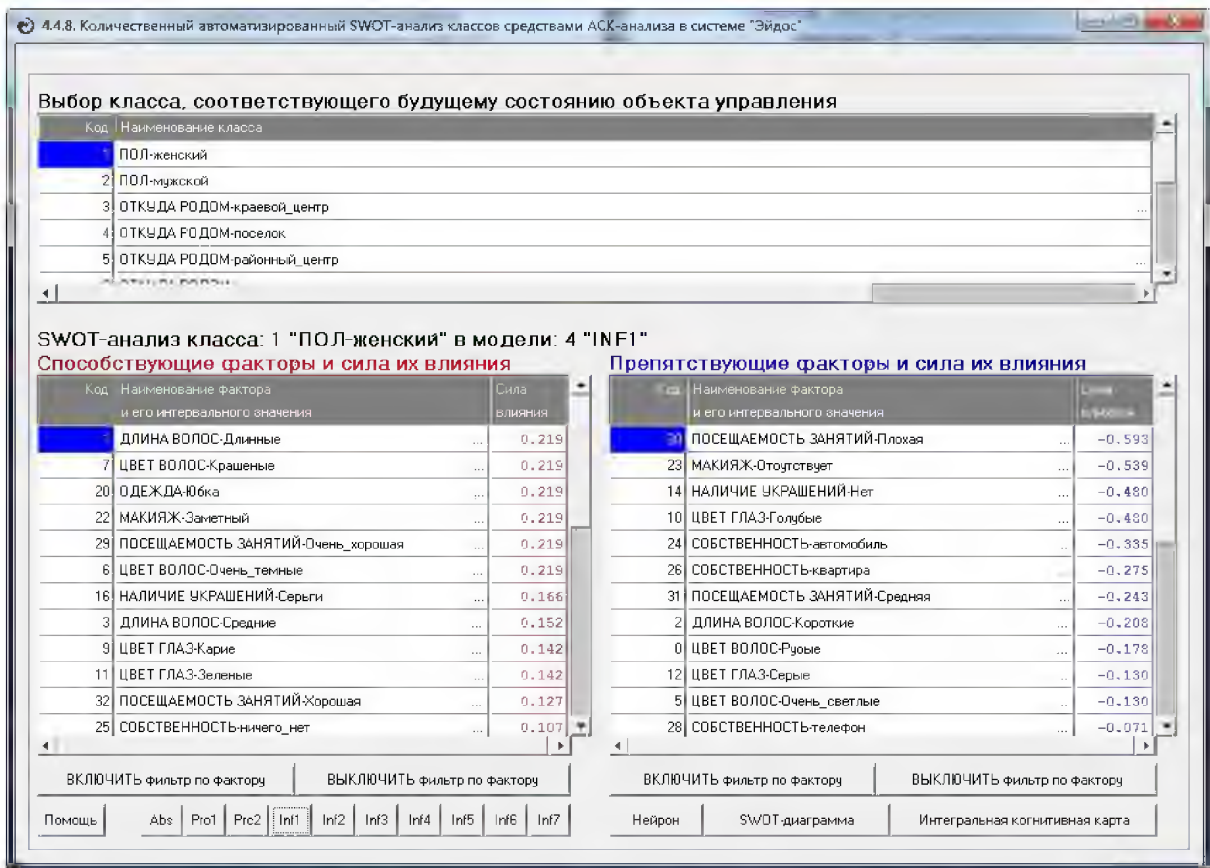


Рисунок 8.29 - SWOT-матрица, автоматически формируемая в системе «Эйдос» непосредственно на основе исходных данных

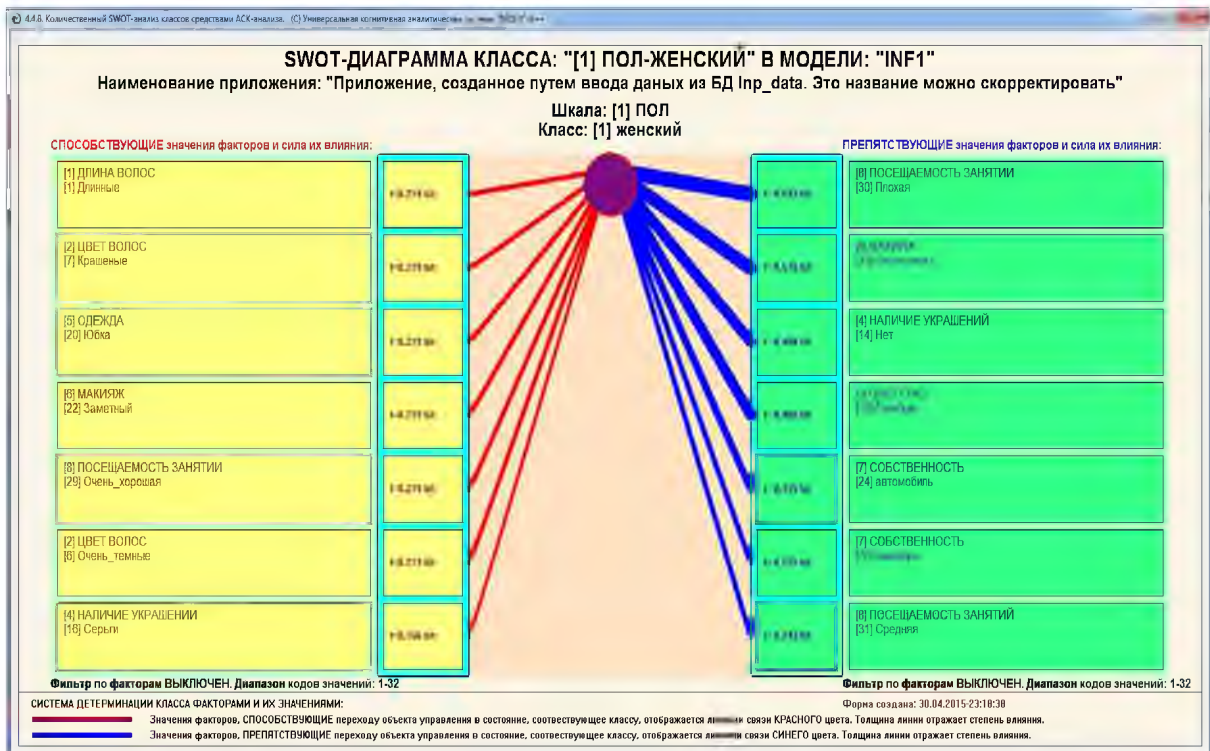


Рисунок 8.30 - SWOT-диаграмма, автоматически формируемая в системе «Эйдос» непосредственно на основе исходных данных



### 2.8.5. Выводы

Качество системы рассматривается, как эмерджентное свойство систем, обусловленное их составом и структурой и отражающее их функциональность, надежность и стоимость. Поэтому при управлении качеством, целью управления является формирование у объекта управления заранее заданных системных свойств. Чем ярче у объекта управления выражены системные свойства, тем сильнее у него проявляется нелинейность: и в зависимости самих управляющих факторов друг от друга, и в зависимости результатов действия одних факторов, от действия других. Поэтому проблема управления качеством состоит в том, что в процессе управления сам объект управления изменяется качественно, т.е. изменяются его уровень системности, степень детерминированности и сама передаточная функция. Эта проблема распадается на несколько задач: 1-я состоит в многопараметрической типизации и сопоставимой системной идентификации состояния объекта управления, 2-я – в принятии решений об управляющем воздействии так изменяющем состав объекта управления, чтобы его качество максимально повышалось при минимальных затратах на это. Для решения 2-й задачи предлагается применить выбор компонент объекта управления по их функциональному назначению с учетом ресурсов, выделенных на реализацию различных функций, затрат, связанных с выбором тех или иных компонентов и степени соответствия различных компонент их функциональному назначению. Фактически предлагается формулировка и решение нового обобщения варианта задачи о назначениях: «Мультипликативный рюкзак», отличающееся от известного тем, что назначения производится не только с учетом ресурсов и затрат, но и с учетом степени соответствия компонент их функциональному назначению. Математическая модель, обеспечивающая решение 1-й задачи и отражающая степень соответствия компонент их функциональному назначению, а также весь процесс принятия решений по назначениям, т.е. 2-я задача, реализованы в АСК-анализе и системе «Эйдос-Х++». Приводится упрощенный численный пример предлагаемого подхода, связанный с назначением персонала.

АСК-анализ и система «Эйдос» представляют собой единственную существующую в настоящее время<sup>140</sup> инновационную (полностью готовую к внедрению) технологию интеллектуального управления качеством систем путем решения обобщенной задачи о назначениях, которая не только позволяет непосредственно на основе эмпирических данных путем многопараметрической типизации создать модель, количественно отражающую степень соответствия объектов классам, но и применить эту модель для назначения объектов на классы с учетом ресурсов классов, затрат на назначение объектов и степени соответствия объектов классам, определяемой путем системной идентификации.

Материалы данной статьи могут быть использованы при преподавании дисциплин: управление персоналом с применением АСК-анализа,

---

<sup>140</sup> На сколько известно автору

интеллектуальной системы «Эйдос» и функционально-стоимостного анализа (а также метода «Директ-костинг»); интеллектуальные системы; инженерия знаний и интеллектуальные системы; интеллектуальные технологии и представление знаний; представление знаний в интеллектуальных системах; основы интеллектуальных систем; введение в нейроматематику и методы нейронных сетей; основы искусственного интеллекта; интеллектуальные технологии в науке и образовании; управление знаниями; автоматизированный системно-когнитивный анализ и интеллектуальная система «Эйдос»; которые автор ведет в настоящее время<sup>141</sup>, а также и в других дисциплинах, связанных с преобразованием данных в информацию, а ее в знания и применением этих знаний для решения задач идентификации, прогнозирования, принятия решений и исследования моделируемой предметной области (а это практически все дисциплины во всех областях науки). Этим и другим применениям должно способствовать и то, что система «Эйдос» находится в полном открытом бесплатном доступе (с открытыми исходными текстами) на сайте автора по адресу. [http://lc.kubagro.ru/aidos/\\_Aidos-X.htm](http://lc.kubagro.ru/aidos/_Aidos-X.htm).

---

<sup>141</sup> [http://lc.kubagro.ru/My\\_training\\_schedule.doc](http://lc.kubagro.ru/My_training_schedule.doc)

## 9 Лекция-9. Управление трудовыми ресурсами с применением системно-когнитивного и функционально-стоимостного анализа<sup>142</sup>

Различные варианты задачи о назначениях<sup>143</sup> часто встречаются в самых различных предметных областях, от управления запасами на стационарных складах и воздушных, водных и подводных судах до управления очередями заданий в различных системах массового обслуживания (СМО), например в супермаркетах и многопроцессорных системах.

Рассмотрим на уровне *неформальной* постановки и алгоритмов решения различные варианты задачи о назначениях (рюкзаках или ранцах<sup>144</sup>) во все более общих постановках, учитывающих:

**Задача-1:** различные размеры грузов и объемы рюкзаков;

**Задача-2:** различную полезность<sup>145</sup> грузов, зависящую только от грузов и различные затраты на их размещение, а также ограничения на ресурсы, связанные с рюкзаками, затрачиваемые на грузы при их размещении;

**Задача-3:** различную полезность каждого груза для разных рюкзаков, различные затраты на размещение грузов и различные ресурсы хозяев рюкзаков.

**Задача-4:** тоже, что в 3-й задаче, плюс автоматическое прогнозирование степени полезности грузов для разных рюкзаков на основе признаков этих грузов путем решения задачи распознавания с применением модели, основанной на базе прецедентов.

Для решения 4-й задачи, впервые встречающейся в литературе, применим технологию и методику системно-когнитивного анализа и его инструментарий – систему «Эйдос».

### Задача-1.

**Дано:** размеры грузов и объемы рюкзаков;

**Необходимо:** разместить грузы по рюкзакам так, чтобы для размещения наиболее важные грузы были размещены в первую очередь и при этом было использовано минимальное количество рюкзаков, причем рюкзаки были максимально заполнены (т.е. остатки пустого места минимальны). Будем считать, что важность грузов пропорциональна их размерам.

**Алгоритм решения (LPT-longest processing time):** Заполняем рюкзак грузами в порядке убывания их размера до тех пор, пока не превышен объем

---

<sup>142</sup> Луценко Е.В. Решение обобщенной задачи о назначениях в системно-когнитивном анализе / Е.В. Луценко, В.Е. Коржаков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №07(051). С. 83 – 108. – Шифр Информрегистра: 0420900012\0070, IDA [article ID]: 0510907004. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/07/pdf/04.pdf>. 1,625 у.п.л.

<sup>143</sup> См.: <http://slovari.vandex.ru/dict/lopatnikov/article/lop/lop-0407.htm&stpar1=1.8.1>

<sup>144</sup> <http://slovari.vandex.ru/dict/lopatnikov/article/lop/lop-0409.htm&stpar1=1.10.1>

<sup>145</sup> <http://slovari.vandex.ru/dict/lopatnikov/article/lop/lop-1102.htm>

рюкзака, иначе берем самый большой новый пустой рюкзак и продолжаем процесс, или подробнее по шагам:

Шаг-1. Сортируем рюкзаки в порядке убывания их размеров.

Шаг-2. Сортируем грузы в порядке убывания их размера.

Шаг-3. Организуем цикл по рюкзакам в порядке убывания их размера.

Шаг-4. Размещаем самый большой предмет из еще не размещенных, который помещается в оставшемся свободном месте текущего рюкзака. Вычисляем остаток свободного места в рюкзаке.

Шаг-5. Если остаток свободного места в текущем рюкзаке позволяет разместить в нем по крайней мере самый маленький груз из еще не размещенных, то переход на шаг-4, иначе – на шаг-6.

Шаг 6. Остались еще остались незаполненные рюкзаки? Если да, то переход на шаг-7, иначе – на шаг-8.

Шаг-7. Берем следующий (очередной) рюкзак, самый большой и оставшихся и переходим на шаг-4.

Шаг-8. Выход.

## **Задача-2**

### **Дано:**

- различная полезность грузов;
- различные затраты на размещение грузов;
- ограничения на ресурсы, связанные с рюкзаками, затрачиваемые на грузы при их размещении.

**Необходимо:** разместить грузы по рюкзакам так, чтобы наиболее полезные грузы были размещены в первую очередь и при этом было использовано минимальное количество рюкзаков, причем рюкзаки имели максимальную суммарную полезность и минимальный вес.

**Алгоритм:** Заполняем рюкзак грузами в порядке убывания их *удельной полезности* до тех пор, пока для этого остаются ресурсы рюкзака, если же ресурсов нет, то берем следующий самый большой по ресурсам новый пустой рюкзак и продолжаем процесс, или подробнее по шагам:

Шаг-1. Находим удельную полезность каждого груза (полезность/затраты)<sup>146</sup>, т.е. полезность единицы затрат при размещении данного груза.

Шаг-2. Сортируем грузы в порядке убывания удельной полезности.

Шаг-3. Сортируем рюкзаки в порядке убывания их ресурсов.

Шаг-3. Организуем цикл по рюкзакам в порядке убывания их ресурсов.

Шаг-4. Организуем цикл по грузам в порядке убывания их удельной полезности.

Шаг-5. Размещаем груз с наибольшей удельной полезностью из еще не размещенных, на который в текущем рюкзаке есть ресурсы. Вычисляем остаток ресурсов рюкзака (вычитаем из его текущих ресурсов затраты на размещение текущего груза).

---

<sup>146</sup> Необходимо отметить, что идея об использовании «удельной полезности» (или аналогичная), не принадлежит авторам статьи и не раз встречается в Internet

Шаг-6. Если остаток ресурсов текущего рюкзака позволяет разместить в нем по крайней мере груз с наименьшими затратами из еще не размещенных, то переход на шаг-5, иначе – на шаг-7.

Шаг 7. Остались еще незаполненные рюкзаки? Если да, то переход на шаг-8, иначе – на шаг-9.

Шаг-8. Берем следующий очередной рюкзак, самый большой по ресурсам из оставшихся и переходим на шаг-4.

Шаг-9. Выход.

### **Задача-3**

#### **Дано:**

- различная полезность каждого груза для разных рюкзаков;
- различные затраты на размещение грузов;
- ограничения на ресурсы, связанные с рюкзаками, затрачиваемые на грузы при их размещении.

**Необходимо:** разместить грузы по рюкзакам наиболее эффективно, т.е. так, чтобы суммарная полезность всей системы рюкзаков была максимальна, а суммарные затраты на размещение грузов – минимальны.

**Алгоритм:** Помещаем грузы в рюкзаки, для которых их удельная полезность максимальна, до тех пор, пока не распределены все грузы и это позволяют ресурсы рюкзаков, или подробнее по шагам:

Шаг-1. Находим удельную полезность каждого груза для каждого рюкзака: (полезность для рюкзака)/затраты, т.е. полезность единицы затрат для каждого *варианта размещения* каждого груза в каждом рюкзаке.

Шаг-2. Сортируем *варианты размещения* грузов в порядке убывания удельной полезности *для всех грузов и рюкзаков*. В этой базе данных каждый груз будет встречаться столько раз, сколько есть рюкзаков, но размещаться будет только один из них.

Шаг-3. Организуем цикл по вариантам размещения грузов в порядке убывания их удельной полезности.

Шаг-5. Размещаем груз с наибольшей удельной полезностью из еще не размещенных, в рюкзаке, для которого удельная полезность максимальна при условии, что это позволяют ресурсы рюкзака. Иначе данный вариант размещения больше не рассматривается. Вычисляем остаток ресурсов рюкзака (вычитаем из его текущих ресурсов затраты на размещение текущего груза).

Шаг-6. Остались еще не рассмотренные варианты размещения грузов по рюкзакам? Если да – то переход на шаг-5, иначе – на шаг 7.

Шаг-7. Выход.

### **Задача-4**

#### **Дано:**

- различные признаки грузов и база прецедентов, в которой содержится информация о том, на сколько грузы с теми или иными признаками ранее были полезными (или нет) и для тех или иных рюкзаков;
- различные затраты на размещение грузов;

– ограничения на ресурсы, связанные с рюкзаками, затрачиваемые на грузы при их размещении.

**Необходимо:**

– на основе базы прецедентов (обучающей выборки) разработать модель, которая отражала бы влияние признаков грузов на степень их полезности для различных рюкзаков;

– на основе созданной модели определить или спрогнозировать степень полезности каждого груза для каждого из рюкзаков, т.е. для каждого варианта размещения;

– разместить грузы по рюкзакам наиболее эффективно, т.е. так, чтобы суммарная полезность всей системы рюкзаков была максимальна, а суммарные затраты на размещение грузов – минимальны.

**Обобщенный алгоритм:**

Этап-1. Синтез модели, отражающей влияние признаков грузов на их полезность для разных рюкзаков.

Этап-2. Прогнозирование степени полезности грузов для разных рюкзаков на основе признаков этих грузов путем решения задачи распознавания с применением модели, основанной на базе прецедентов.

Этап-3. Размещение грузов в рюкзаки, для которых их удельная полезность максимальна, до тех пор, пока не распределены все грузы и это позволяют ресурсы рюкзаков, или подробнее по шагам:

Возможны различные подходы к решению этой задачи. Первые два этапа могут быть реализованы с помощью различных технологий искусственного интеллекта [2, 3]. Известно<sup>147</sup>, что третий этап может быть реализован с применением методов линейного, нелинейного и динамического программирования.

Однако у этих подходов есть свои **проблемы:**

1. Труднодоступность или фактическое отсутствие программного обеспечения, позволяющего строить на основе прецедентов и применять для прогнозирования модели влияния *признаков* объектов на их *полезность* для различных применений.

2. *Очень значительные* затраты вычислительных ресурсов (прежде всего времени) при решении подобных задач, даже при очень ограниченных размерностях, весьма и далеких от реальных.

По поводу *1-й проблемы* можно сказать, что не вполне ясен, даже чисто в научном плане, общий подход к определению полезности, тем более в количественной форме, тем более при большом количестве объектов и их применений (классов). Таким образом, полезность даже определить трудно, но ясно одного определения самого по себе еще совершенно недостаточно, т.к. для решения задачи на практике необходимо еще и *ввести* эту полезность в соответствующие базы данных, что вручную сделать в большинстве реальных случаев практически невозможно. Следовательно, необходимо специальное программное обеспечение, позволяющее не только

---

<sup>147</sup> См.: <http://slovari.yandex.ru/dict/lopatnikov/article/lop/lop-0407.htm&stpar1=1.8.1>

количественно определять полезность большого количества объектов для значительного количества их применений на основе признаков этих объектов, но и автоматически вводить эту информацию (наряду с другой, указанной в условиях задачи) в соответствующие базы данных, а также имеющие режимы, непосредственно обеспечивающие решение задачи о назначениях в универсальной форме, независимой от предметной области.

Причиной 2-й проблемы, т.е. большой вычислительной трудоемкости решения подобных задач, по мнению автора, является так называемая проблема «комбинаторного взрыва»<sup>148</sup>.

Для решения сформулированных проблем в данной работе все эти этапы, включая и 3-й, предлагается осуществлять с помощью системно-когнитивного анализа (СК-анализ) и его инструментария – универсальной когнитивной аналитической системы «Эйдос» (система «Эйдос») [1-10]. Алгоритм 3-го этапа не отличается от алгоритма задачи-3.

Сформулируем (на неформальном уровне) общую постановку задачи о назначениях в традиционной терминологии СК-анализа. Размещаемые грузы будем называть объектами или элементами, а рюкзаки классами или подсистемами. В качестве количественной меры «пользы» от размещения объекта в классе (для самого класса и системы в целом) будем рассматривать сходство образа данного конкретного объекта с обобщенным образом класса, т.е. по сути количество информации, содержащееся в системе признаков объекта о его принадлежности к данному классу.

**Дано:**

1. Элементы имеют свойства и в разной степени подходят для различных подсистем, но в какой именно степени подходят – это надо еще определить (это задача распознавания).

2. На включение элементов в состав подсистем затрачиваются определенные ресурсы подсистем, т.е. каждому элементу соответствуют затраты, а подсистемам – ресурсы.

3. Все элементы различны.

4. Каждый элемент может быть назначен единственной подсистеме.

**Необходимо:** максимизировать суммарный системный эффект (пользу) от распределения элементов по подсистемам и желательно при этом минимизировать суммарные затраты.

Далее на условном примере небольшой размерности рассмотрим подробнее как реализуются все эти этапы в системе «Эйдос». Размерность примера выбрана таким образом, чтобы необходимые базы данных можно было полностью привести в статье.

В режиме \_154 (рисунок 9.1) сгенерируем случайную модель с параметрами, представленными на рисунке 9.2.

---

<sup>148</sup> См.: [www.ifwiki.ru/Комбинаторный взрыв](http://www.ifwiki.ru/Комбинаторный_взрыв)



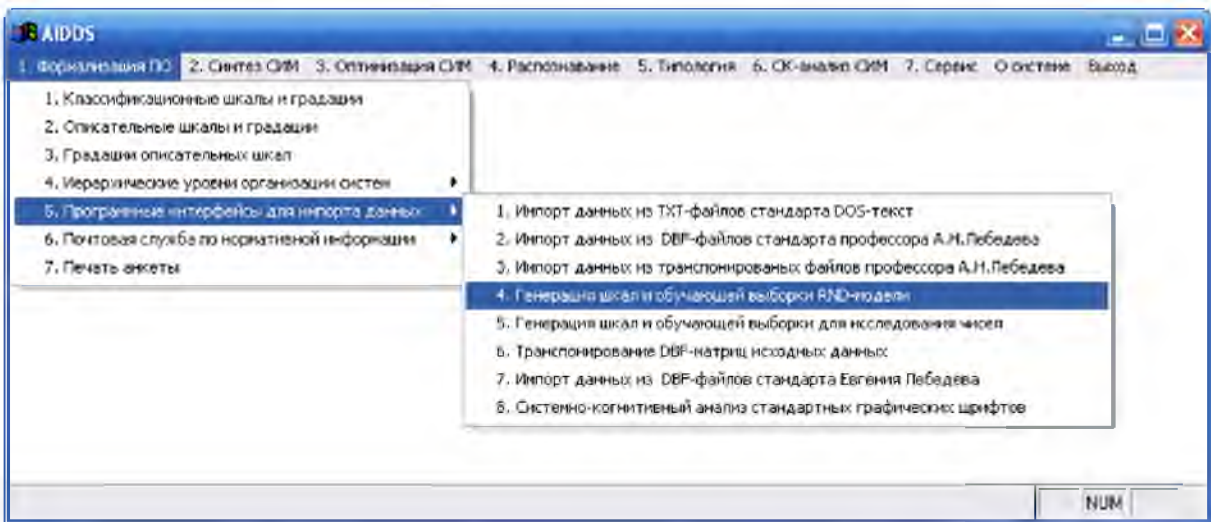


Рисунок 9.1 - Экранная форма вызова режима \_154 системы «Эйдос»

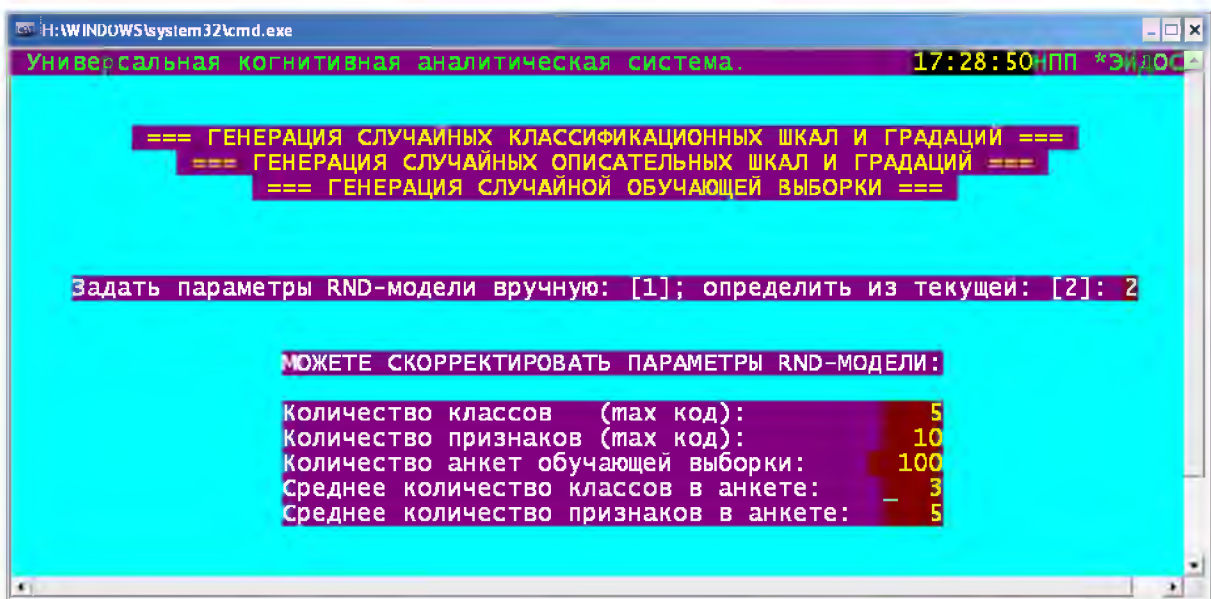


Рисунок 9.2 - Параметры случайной модели

При каждом запуске этого режима автоматически формируются разные случайные модели с заданными параметрами. В примере, рассматриваем в данной статье, сформированы следующие базы данных (таблицы 9.1 – 9.3):

Таблица 9.1 – Справочник классов

| KOD | NAME    |
|-----|---------|
| 1   | Klass 1 |
| 2   | Klass 2 |
| 3   | Klass 3 |
| 4   | Klass 4 |
| 5   | Klass 5 |

Таблица 9.2 – Справочник признаков

| KOD | NAME  |
|-----|-------|
| 1   | Atr 1 |
| 2   | Atr 2 |
| 3   | Atr 3 |
| 4   | Atr 4 |
| 5   | Atr 5 |
| 6   | Atr 6 |
| 7   | Atr 7 |



|    |        |
|----|--------|
| 8  | Atr 8  |
| 9  | Atr 9  |
| 10 | Atr 10 |

Таблица 9.3 – ОБУЧАЮЩАЯ ВЫБОРКА (ФРАГМЕНТ)

| Код объекта | Наименование объекта | Коды классов |        |        | Коды признаков |      |      |      |      |
|-------------|----------------------|--------------|--------|--------|----------------|------|------|------|------|
|             |                      | Klass1       | Klass2 | Klass3 | Atr1           | Atr2 | Atr3 | Atr4 | Atr5 |
| 1           | lst-00001            | 2            | 3      | 4      | 2              | 3    | 5    | 6    | 8    |
| 2           | lst-00002            | 1            | 2      | 4      | 1              | 7    | 8    | 9    | 10   |
| 3           | lst-00003            | 1            | 3      | 5      | 1              | 2    | 3    | 4    | 6    |
| 4           | lst-00004            | 1            | 3      | 5      | 3              | 4    | 6    | 9    | 10   |
| 5           | lst-00005            | 1            | 2      | 4      | 5              | 6    | 7    | 8    | 10   |
| 6           | lst-00006            | 1            | 2      | 5      | 2              | 3    | 6    | 7    | 8    |
| 7           | lst-00007            | 1            | 4      | 5      | 1              | 3    | 5    | 6    | 9    |
| 8           | lst-00008            | 2            | 3      | 5      | 5              | 6    | 7    | 9    | 10   |
| 9           | lst-00009            | 2            | 3      | 5      | 1              | 3    | 5    | 6    | 8    |
| 10          | lst-00010            | 1            | 3      | 4      | 1              | 2    | 5    | 7    | 10   |
| 11          | lst-00011            | 1            | 3      | 4      | 1              | 2    | 3    | 8    | 9    |
| 12          | lst-00012            | 1            | 3      | 5      | 1              | 2    | 3    | 6    | 9    |
| 13          | lst-00013            | 2            | 3      | 4      | 1              | 4    | 5    | 7    | 10   |
| 14          | lst-00014            | 1            | 2      | 3      | 1              | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 15          | lst-00015            | 1            | 2      | 5      | 1              | 3    | 7    | 9    | 10   |
| 16          | lst-00016            | 2            | 3      | 5      | 2              | 4    | 6    | 9    | 10   |
| 17          | lst-00017            | 1            | 2      | 4      | 4              | 6    | 8    | 9    | 10   |
| 18          | lst-00018            | 1            | 4      | 5      | 3              | 4    | 7    | 9    | 10   |
| 19          | lst-00019            | 1            | 3      | 4      | 1              | 2    | 4    | 7    | 8    |
| 20          | lst-00020            | 1            | 4      | 5      | 1              | 2    | 3    | 6    | 8    |
| 21          | lst-00021            | 1            | 3      | 5      | 2              | 3    | 4    | 8    | 10   |
| 22          | lst-00022            | 3            | 4      | 5      | 2              | 3    | 5    | 6    | 7    |
| 23          | lst-00023            | 1            | 3      | 5      | 4              | 6    | 8    | 9    | 10   |
| 24          | lst-00024            | 2            | 3      | 4      | 1              | 2    | 6    | 8    | 9    |
| 25          | lst-00025            | 2            | 4      | 5      | 1              | 3    | 4    | 6    | 7    |
| 26          | lst-00026            | 2            | 3      | 4      | 3              | 5    | 6    | 9    | 10   |
| 27          | lst-00027            | 2            | 3      | 4      | 1              | 4    | 5    | 7    | 10   |
| 28          | lst-00028            | 1            | 3      | 5      | 1              | 2    | 6    | 8    | 10   |
| 29          | lst-00029            | 1            | 2      | 5      | 1              | 2    | 3    | 6    | 8    |
| 30          | lst-00030            | 1            | 2      | 4      | 1              | 4    | 6    | 8    | 10   |
| 31          | lst-00031            | 1            | 3      | 4      | 1              | 6    | 7    | 8    | 9    |
| 32          | lst-00032            | 1            | 2      | 3      | 1              | 2    | 7    | 8    | 10   |

После формализации предметной области, т.е. формирования баз данных, представленных в таблица 9.1 – 9.3, был запущен режим \_25 системы «Эйдос» (рисунок 9.3), который сформировал базу абсолютных частот (таблица 9.4), базу знаний (таблица 9.5), а также базу данных результатов идентификации образов конкретных объектов с обобщенными образами классов (таблица 9.6):

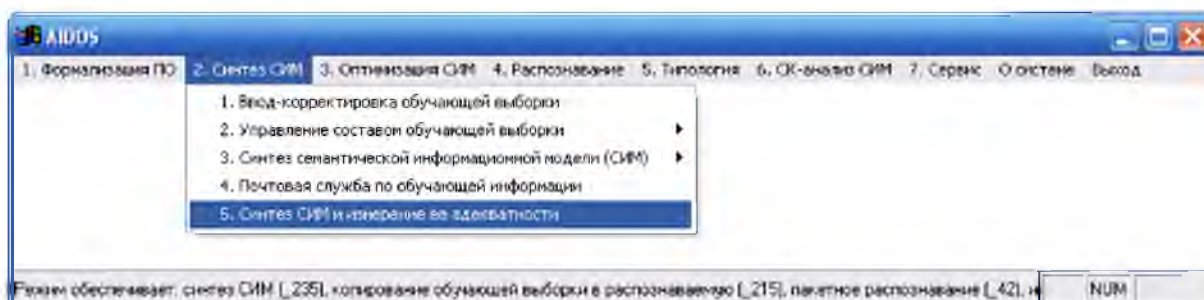


Рисунок 9.3 - Экранная форма выбора режима \_25 системы «Эйдос»

Таблица 9.4 – База абсолютных частот

| Коды признаков | Коды классов |    |    |    |    |
|----------------|--------------|----|----|----|----|
|                | 1            | 2  | 3  | 4  | 5  |
| 1              | 34           | 35 | 30 | 28 | 32 |
| 2              | 31           | 25 | 31 | 22 | 26 |
| 3              | 34           | 28 | 31 | 24 | 39 |
| 4              | 30           | 33 | 28 | 21 | 32 |
| 5              | 29           | 34 | 26 | 22 | 24 |
| 6              | 34           | 33 | 29 | 22 | 32 |
| 7              | 33           | 30 | 26 | 29 | 29 |
| 8              | 43           | 33 | 35 | 31 | 32 |
| 9              | 28           | 27 | 31 | 19 | 27 |
| 10             | 39           | 37 | 33 | 27 | 32 |

Таблица 9.5 – База знаний (в сантибитах: Бит×0,01)

| Коды признаков | Коды классов |        |        |        |        |
|----------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
|                | 1            | 2      | 3      | 4      | 5      |
| 1              | -1,380       | 1,495  | -1,850 | 2,390  | -0,326 |
| 2              | 0,883        | -3,993 | 4,386  | -0,072 | -1,723 |
| 3              | -0,775       | -4,985 | -0,204 | -1,900 | 6,560  |
| 4              | -2,207       | 2,773  | -0,894 | -3,598 | 2,820  |
| 5              | -1,235       | 5,770  | -1,198 | -0,072 | -4,264 |
| 6              | 0,470        | 1,477  | -1,076 | -3,417 | 1,524  |
| 7              | 0,164        | -0,908 | -3,902 | 5,995  | -0,960 |
| 8              | 3,214        | -3,235 | 0,182  | 2,759  | -3,188 |
| 9              | -1,635       | -0,836 | 5,100  | -4,013 | 0,189  |
| 10             | 1,228        | 1,511  | -0,572 | -0,513 | -2,074 |

Таблица 8 – База данных результатов идентификации образов конкретных объектов с обобщенными образами классов<sup>149</sup>

| Результаты идентификации объектов с 1-м классом |            |          |      | Результаты идентификации объектов со 2-м классом |            |          |      | Результаты идентификации объектов с 3-м классом |            |          |      | Результаты идентификации объектов с 4-м классом |            |          |      | Результаты идентификации объектов с 5-м классом |            |          |      |
|-------------------------------------------------|------------|----------|------|--------------------------------------------------|------------|----------|------|-------------------------------------------------|------------|----------|------|-------------------------------------------------|------------|----------|------|-------------------------------------------------|------------|----------|------|
| Код объекта                                     | Код класса | Сходство | Факт | Код объекта                                      | Код класса | Сходство | Факт | Код объекта                                     | Код класса | Сходство | Факт | Код объекта                                     | Код класса | Сходство | Факт | Код объекта                                     | Код класса | Сходство | Факт |
| 65                                              | 1          | 61,8     | √    | 50                                               | 2          | 76,6     | √    | 61                                              | 3          | 56,8     | √    | 34                                              | 4          | 72,0     | √    | 25                                              | 5          | 62,1     | √    |
| 28                                              | 1          | 58,4     | √    | 44                                               | 2          | 63,5     | √    | 43                                              | 3          | 55,6     | √    | 47                                              | 4          | 72,0     | √    | 57                                              | 5          | 60,6     | √    |
| 91                                              | 1          | 58,4     | √    | 93                                               | 2          | 63,5     | √    | 63                                              | 3          | 55,6     | √    | 32                                              | 4          | 69,4     | √    | 4                                               | 5          | 58,5     | √    |
| 43                                              | 1          | 55,4     | √    | 88                                               | 2          | 63,4     | √    | 11                                              | 3          | 52,8     | √    | 92                                              | 4          | 69,4     | √    | 3                                               | 5          | 57,5     | √    |
| 63                                              | 1          | 55,4     | √    | 13                                               | 2          | 63,1     | √    | 57                                              | 3          | 50,7     | √    | 40                                              | 4          | 61,3     | √    | 96                                              | 5          | 55,4     | √    |
| 32                                              | 1          | 54,8     | √    | 27                                               | 2          | 63,1     | √    | 55                                              | 3          | 49,8     | √    | 10                                              | 4          | 52,7     | √    | 49                                              | 5          | 51,8     | √    |
| 92                                              | 1          | 54,8     | √    | 72                                               | 2          | 63,1     | √    | 94                                              | 3          | 49,8     | √    | 19                                              | 4          | 51,2     | √    | 68                                              | 5          | 51,6     | √    |
| 6                                               | 1          | 53,1     | √    | 81                                               | 2          | 62,9     | √    | 16                                              | 3          | 48,1     | √    | 84                                              | 4          | 51,2     | √    | 18                                              | 5          | 43,6     | √    |
| 85                                              | 1          | 53,1     | √    | 54                                               | 2          | 49,8     | √    | 89                                              | 3          | 47,6     | √    | 80                                              | 4          | 48,6     | √    | 46                                              | 5          | 42,6     | √    |
| 5                                               | 1          | 51,7     | √    | 51                                               | 2          | 45,5     | √    | 24                                              | 3          | 46,7     | √    | 2                                               | 4          | 46,2     | √    | 12                                              | 5          | 41,7     | √    |
| 58                                              | 1          | 47,7     | √    | 62                                               | 2          | 42,6     | √    | 12                                              | 3          | 44,1     | √    | 65                                              | 4          | 44,1     | √    | 82                                              | 5          | 40,7     | √    |
| 100                                             | 1          | 47,1     | √    | 64                                               | 2          | 42,5     | √    | 39                                              | 3          | 41,5     | √    | 98                                              | 4          | 42,0     | √    | 71                                              | 5          | 40,5     | √    |
| 78                                              | 1          | 40,9     | √    | 8                                                | 2          | 42,5     | √    | 74                                              | 3          | 38,6     | √    | 70                                              | 4          | 41,5     | √    | 41                                              | 5          | 36,9     | √    |
| 1                                               | 1          | 36,9     | √    | 69                                               | 2          | 39,8     | √    | 59                                              | 3          | 25,1     | √    | 58                                              | 4          | 37,8     | √    | 69                                              | 5          | 31,8     | √    |
| 20                                              | 1          | 35,2     | √    | 84                                               | 2          | 36,1     | √    | 42                                              | 3          | 23,0     | √    | 36                                              | 4          | 35,6     | √    | 59                                              | 5          | 30,2     | √    |

<sup>149</sup> В таблице базе данных придан вид, удобный для статьи

|    |   |       |   |     |   |       |   |     |   |       |   |     |   |       |   |     |   |       |   |
|----|---|-------|---|-----|---|-------|---|-----|---|-------|---|-----|---|-------|---|-----|---|-------|---|
| 29 | 1 | 35,2  | √ | 73  | 2 | 36,0  | √ | 49  | 3 | 21,6  | √ | 5   | 4 | 35,2  | √ | 75  | 5 | 27,1  | √ |
| 90 | 1 | 35,2  | √ | 38  | 2 | 31,9  |   | 77  | 3 | 20,8  | √ | 95  | 4 | 34,6  | √ | 7   | 5 | 26,5  | √ |
| 21 | 1 | 34,4  | √ | 97  | 2 | 31,9  | √ | 21  | 3 | 20,1  | √ | 13  | 4 | 32,0  | √ | 70  | 5 | 26,0  | √ |
| 56 | 1 | 34,4  | √ | 95  | 2 | 31,8  | √ | 56  | 3 | 20,1  | √ | 27  | 4 | 32,0  | √ | 55  | 5 | 25,8  | √ |
| 64 | 1 | 33,9  | √ | 67  | 2 | 29,3  | √ | 17  | 3 | 19,0  |   | 72  | 4 | 32,0  |   | 94  | 5 | 25,8  | √ |
| 52 | 1 | 32,7  | √ | 79  | 2 | 29,2  | √ | 23  | 3 | 19,0  | √ | 37  | 4 | 31,7  | √ | 60  | 5 | 25,4  | √ |
| 67 | 1 | 30,9  | √ | 5   | 2 | 28,9  | √ | 53  | 3 | 18,5  |   | 62  | 4 | 29,5  |   | 86  | 5 | 25,4  | √ |
| 74 | 1 | 28,7  | √ | 48  | 2 | 26,3  | √ | 99  | 3 | 18,5  |   | 31  | 4 | 29,1  | √ | 15  | 5 | 24,7  | √ |
| 37 | 1 | 27,4  | √ | 30  | 2 | 25,5  | √ | 67  | 3 | 16,9  | √ | 6   | 4 | 27,0  |   | 83  | 5 | 24,7  |   |
| 70 | 1 | 26,9  | √ | 10  | 2 | 24,7  |   | 4   | 3 | 16,4  | √ | 85  | 4 | 27,0  | √ | 14  | 5 | 22,8  |   |
| 34 | 1 | 26,4  | √ | 36  | 2 | 24,5  | √ | 82  | 3 | 16,2  | √ | 60  | 4 | 26,0  | √ | 20  | 5 | 21,4  | √ |
| 47 | 1 | 26,4  |   | 26  | 2 | 19,3  | √ | 1   | 3 | 14,6  | √ | 86  | 4 | 26,0  | √ | 29  | 5 | 21,4  | √ |
| 2  | 1 | 25,7  | √ | 7   | 2 | 19,2  |   | 26  | 3 | 14,3  | √ | 46  | 4 | 23,8  |   | 90  | 5 | 21,4  | √ |
| 24 | 1 | 25,3  |   | 35  | 2 | 18,9  |   | 33  | 3 | 14,1  | √ | 66  | 4 | 23,5  |   | 89  | 5 | 20,1  | √ |
| 61 | 1 | 24,5  | √ | 37  | 2 | 15,7  |   | 20  | 3 | 10,0  |   | 74  | 4 | 23,5  | √ | 21  | 5 | 18,7  | √ |
| 54 | 1 | 24,3  | √ | 96  | 2 | 15,5  | √ | 29  | 3 | 10,0  |   | 71  | 4 | 21,2  | √ | 56  | 5 | 18,7  |   |
| 30 | 1 | 22,7  | √ | 87  | 2 | 15,5  |   | 90  | 3 | 10,0  | √ | 52  | 4 | 20,9  |   | 6   | 5 | 17,6  | √ |
| 60 | 1 | 22,1  |   | 17  | 2 | 12,2  | √ | 88  | 3 | 9,5   |   | 15  | 4 | 18,7  |   | 85  | 5 | 17,6  | √ |
| 86 | 1 | 22,1  | √ | 23  | 2 | 12,2  |   | 79  | 3 | 8,1   | √ | 83  | 4 | 18,7  | √ | 77  | 5 | 17,0  | √ |
| 17 | 1 | 19,7  | √ | 80  | 2 | 11,9  | √ | 28  | 3 | 7,5   | √ | 38  | 4 | 17,4  | √ | 48  | 5 | 16,8  | √ |
| 23 | 1 | 19,7  | √ | 14  | 2 | 8,7   | √ | 91  | 3 | 7,5   | √ | 97  | 4 | 17,4  | √ | 26  | 5 | 16,0  |   |
| 80 | 1 | 19,1  |   | 16  | 2 | 7,9   | √ | 7   | 3 | 5,4   |   | 73  | 4 | 17,0  |   | 11  | 5 | 13,4  |   |
| 45 | 1 | 18,7  | √ | 76  | 2 | 7,4   | √ | 45  | 3 | 5,3   |   | 76  | 4 | 14,8  |   | 98  | 5 | 13,2  |   |
| 87 | 1 | 18,7  | √ | 78  | 2 | 5,7   | √ | 51  | 3 | 4,6   |   | 81  | 4 | 14,8  | √ | 76  | 5 | 12,4  | √ |
| 31 | 1 | 17,0  | √ | 9   | 2 | 5,6   | √ | 52  | 3 | 4,3   | √ | 87  | 4 | 14,6  |   | 53  | 5 | 11,3  | √ |
| 42 | 1 | 16,6  | √ | 4   | 2 | 2,3   |   | 44  | 3 | 4,1   |   | 28  | 4 | 14,0  |   | 99  | 5 | 11,3  | √ |
| 19 | 1 | 15,1  | √ | 71  | 2 | 2,0   |   | 93  | 3 | 4,1   | √ | 64  | 4 | 14,0  | √ | 22  | 5 | 11,2  | √ |
| 53 | 1 | 14,9  |   | 68  | 2 | 1,9   | √ | 3   | 3 | 2,6   | √ | 91  | 4 | 14,0  | √ | 74  | 5 | 9,6   |   |
| 99 | 1 | 14,9  | √ | 25  | 2 | 1,8   | √ | 41  | 3 | 2,0   | √ | 100 | 4 | 12,0  |   | 35  | 5 | 9,1   | √ |
| 73 | 1 | 12,0  | √ | 39  | 2 | 0,7   | √ | 14  | 3 | 1,8   | √ | 22  | 4 | 10,3  | √ | 16  | 5 | 8,8   | √ |
| 11 | 1 | 10,9  | √ | 77  | 2 | -0,3  |   | 66  | 3 | -0,1  |   | 35  | 4 | 7,7   | √ | 52  | 5 | 7,5   | √ |
| 9  | 1 | 10,8  |   | 34  | 2 | -2,3  |   | 65  | 3 | -0,7  | √ | 48  | 4 | 6,7   |   | 9   | 5 | 6,2   | √ |
| 98 | 1 | 8,7   | √ | 47  | 2 | -2,3  | √ | 100 | 3 | -1,8  | √ | 9   | 4 | 5,8   |   | 17  | 5 | -0,0  |   |
| 75 | 1 | 8,3   |   | 58  | 2 | -2,4  | √ | 37  | 3 | -2,6  | √ | 20  | 4 | 5,8   | √ | 23  | 5 | -0,0  | √ |
| 40 | 1 | 7,2   | √ | 55  | 2 | -4,6  | √ | 60  | 3 | -2,9  |   | 29  | 4 | 5,8   |   | 45  | 5 | -1,0  | √ |
| 35 | 1 | 5,7   | √ | 94  | 2 | -4,6  | √ | 86  | 3 | -2,9  |   | 90  | 4 | 5,8   |   | 33  | 5 | -1,9  | √ |
| 59 | 1 | 5,3   | √ | 45  | 2 | -5,8  | √ | 18  | 3 | -3,2  |   | 25  | 4 | 4,1   | √ | 1   | 5 | -2,2  |   |
| 66 | 1 | 4,3   | √ | 42  | 2 | -7,4  | √ | 6   | 3 | -4,1  |   | 41  | 4 | 2,7   |   | 81  | 5 | -2,9  |   |
| 10 | 1 | 3,4   | √ | 33  | 2 | -7,5  | √ | 85  | 3 | -4,1  | √ | 11  | 4 | 2,3   | √ | 30  | 5 | -3,1  |   |
| 39 | 1 | 2,3   | √ | 40  | 2 | -7,9  | √ | 87  | 3 | -6,1  | √ | 33  | 4 | 2,3   |   | 65  | 5 | -4,0  | √ |
| 22 | 1 | 1,7   |   | 2   | 2 | -8,6  | √ | 2   | 3 | -7,1  |   | 75  | 4 | 2,1   |   | 78  | 5 | -4,3  |   |
| 79 | 1 | 0,8   | √ | 100 | 2 | -8,7  | √ | 15  | 3 | -9,8  |   | 53  | 4 | -0,3  | √ | 66  | 5 | -5,7  | √ |
| 51 | 1 | -2,6  | √ | 31  | 2 | -8,8  |   | 83  | 3 | -9,8  | √ | 99  | 4 | -0,3  | √ | 88  | 5 | -6,5  | √ |
| 49 | 1 | -3,4  |   | 75  | 2 | -11,2 | √ | 31  | 3 | -10,6 | √ | 45  | 4 | -4,2  |   | 40  | 5 | -8,8  |   |
| 8  | 1 | -4,3  |   | 18  | 2 | -11,2 |   | 58  | 3 | -11,0 |   | 8   | 4 | -4,7  |   | 50  | 5 | -9,6  | √ |
| 36 | 1 | -5,3  | √ | 22  | 2 | -12,3 |   | 8   | 3 | -11,3 | √ | 24  | 4 | -6,7  | √ | 39  | 5 | -10,1 |   |
| 68 | 1 | -5,6  | √ | 28  | 2 | -13,0 |   | 32  | 3 | -12,0 | √ | 79  | 4 | -6,7  |   | 31  | 5 | -12,3 |   |
| 38 | 1 | -6,1  | √ | 91  | 2 | -13,0 |   | 92  | 3 | -12,0 |   | 30  | 4 | -6,8  | √ | 42  | 5 | -12,4 |   |
| 97 | 1 | -6,1  | √ | 3   | 2 | -15,7 |   | 22  | 3 | -13,7 | √ | 1   | 4 | -8,7  | √ | 19  | 5 | -16,0 |   |
| 41 | 1 | -7,0  | √ | 15  | 2 | -18,5 | √ | 19  | 3 | -14,3 | √ | 78  | 4 | -11,3 |   | 24  | 5 | -16,8 |   |
| 16 | 1 | -7,2  |   | 83  | 2 | -18,5 | √ | 98  | 3 | -14,7 | √ | 14  | 4 | -12,0 |   | 44  | 5 | -17,6 | √ |
| 84 | 1 | -9,3  | √ | 61  | 2 | -18,8 |   | 38  | 3 | -15,0 | √ | 21  | 4 | -12,4 |   | 93  | 5 | -17,6 | √ |
| 89 | 1 | -12,0 | √ | 19  | 2 | -19,3 |   | 97  | 3 | -15,0 |   | 56  | 4 | -12,4 | √ | 51  | 5 | -18,0 | √ |
| 33 | 1 | -13,6 |   | 66  | 2 | -21,2 | √ | 34  | 3 | -16,4 |   | 68  | 4 | -13,0 |   | 80  | 5 | -18,1 | √ |
| 26 | 1 | -15,1 |   | 59  | 2 | -24,5 | √ | 47  | 3 | -16,4 | √ | 42  | 4 | -14,8 | √ | 61  | 5 | -19,6 |   |
| 76 | 1 | -16,6 |   | 82  | 2 | -24,6 | √ | 62  | 3 | -16,7 | √ | 18  | 4 | -16,6 | √ | 73  | 5 | -20,1 |   |
| 15 | 1 | -20,3 | √ | 49  | 2 | -24,7 |   | 46  | 3 | -16,9 | √ | 89  | 4 | -17,0 |   | 95  | 5 | -22,4 |   |
| 83 | 1 | -20,3 |   | 1   | 2 | -25,6 | √ | 78  | 3 | -19,7 | √ | 82  | 4 | -18,5 |   | 100 | 5 | -22,8 | √ |
| 12 | 1 | -20,8 | √ | 43  | 2 | -26,2 | √ | 10  | 3 | -21,6 | √ | 54  | 4 | -21,3 |   | 13  | 5 | -24,5 |   |
| 69 | 1 | -21,7 |   | 63  | 2 | -26,2 | √ | 76  | 3 | -23,0 | √ | 50  | 4 | -23,5 |   | 27  | 5 | -24,5 |   |
| 77 | 1 | -23,1 |   | 24  | 2 | -26,3 | √ | 75  | 3 | -23,0 | √ | 43  | 4 | -23,8 | √ | 72  | 5 | -24,5 | √ |
| 96 | 1 | -23,4 |   | 32  | 2 | -26,5 | √ | 95  | 3 | -23,8 | √ | 63  | 4 | -23,8 |   | 54  | 5 | -26,8 |   |
| 82 | 1 | -24,8 | √ | 92  | 2 | -26,5 | √ | 54  | 3 | -24,5 | √ | 67  | 4 | -23,8 |   | 43  | 5 | -27,3 | √ |
| 48 | 1 | -25,3 | √ | 57  | 2 | -29,0 | √ | 36  | 3 | -25,1 |   | 61  | 4 | -24,9 | √ | 63  | 5 | -27,3 |   |
| 62 | 1 | -25,7 |   | 46  | 2 | -29,3 | √ | 69  | 3 | -27,2 | √ | 39  | 4 | -26,0 |   | 8   | 5 | -29,2 | √ |
| 4  | 1 | -26,4 | √ | 53  | 2 | -31,7 | √ | 9   | 3 | -28,6 | √ | 44  | 4 | -27,0 | √ | 36  | 5 | -30,2 |   |

|    |   |       |   |    |   |       |   |    |   |       |   |    |   |       |   |    |   |       |   |
|----|---|-------|---|----|---|-------|---|----|---|-------|---|----|---|-------|---|----|---|-------|---|
| 71 | 1 | -27,0 | √ | 99 | 2 | -31,7 |   | 30 | 3 | -29,0 |   | 93 | 4 | -27,0 |   | 28 | 5 | -30,4 | √ |
| 3  | 1 | -27,4 | √ | 70 | 2 | -32,3 |   | 64 | 3 | -31,1 |   | 3  | 4 | -31,7 |   | 91 | 5 | -30,4 |   |
| 50 | 1 | -28,7 | √ | 89 | 2 | -36,0 |   | 96 | 3 | -31,7 |   | 77 | 4 | -33,0 | √ | 84 | 5 | -31,2 | √ |
| 18 | 1 | -29,9 | √ | 12 | 2 | -36,2 |   | 50 | 3 | -38,6 |   | 7  | 4 | -34,1 | √ | 79 | 5 | -32,1 |   |
| 57 | 1 | -30,4 |   | 98 | 2 | -36,4 | √ | 5  | 3 | -45,3 |   | 12 | 4 | -34,1 |   | 38 | 5 | -32,9 |   |
| 46 | 1 | -30,9 |   | 41 | 2 | -38,2 |   | 68 | 3 | -45,9 |   | 96 | 4 | -34,3 | √ | 97 | 5 | -32,9 |   |
| 88 | 1 | -31,7 | √ | 21 | 2 | -42,4 |   | 48 | 3 | -46,7 |   | 59 | 4 | -35,6 |   | 2  | 5 | -33,9 |   |
| 13 | 1 | -32,3 |   | 56 | 2 | -42,4 |   | 70 | 3 | -47,3 |   | 51 | 4 | -38,0 |   | 87 | 5 | -35,9 | √ |
| 27 | 1 | -32,3 |   | 52 | 2 | -45,4 |   | 73 | 3 | -47,6 | √ | 17 | 4 | -44,6 | √ | 62 | 5 | -40,3 | √ |
| 72 | 1 | -32,3 | √ | 20 | 2 | -49,9 |   | 35 | 3 | -48,0 |   | 23 | 4 | -44,6 |   | 67 | 5 | -42,6 |   |
| 25 | 1 | -35,7 |   | 29 | 2 | -49,9 | √ | 40 | 3 | -48,1 |   | 69 | 4 | -48,8 |   | 32 | 5 | -45,4 |   |
| 95 | 1 | -36,3 |   | 90 | 2 | -49,9 |   | 80 | 3 | -48,6 |   | 55 | 4 | -49,7 |   | 92 | 5 | -45,4 | √ |
| 81 | 1 | -41,0 | √ | 60 | 2 | -56,1 | √ | 71 | 3 | -51,3 |   | 94 | 4 | -49,7 |   | 64 | 5 | -45,7 | √ |
| 7  | 1 | -45,3 | √ | 86 | 2 | -56,1 |   | 84 | 3 | -52,9 |   | 26 | 4 | -51,2 | √ | 58 | 5 | -47,4 |   |
| 14 | 1 | -47,1 | √ | 11 | 2 | -63,0 |   | 25 | 3 | -54,7 |   | 49 | 4 | -52,7 | √ | 5  | 5 | -49,5 |   |
| 55 | 1 | -50,1 | √ | 65 | 2 | -63,3 |   | 13 | 3 | -58,1 | √ | 16 | 4 | -61,3 |   | 10 | 5 | -51,8 |   |
| 94 | 1 | -50,1 |   | 6  | 2 | -63,5 | √ | 27 | 3 | -58,1 | √ | 88 | 4 | -61,3 |   | 37 | 5 | -57,5 |   |
| 44 | 1 | -53,1 |   | 85 | 2 | -63,5 |   | 72 | 3 | -58,1 | √ | 57 | 4 | -69,4 |   | 34 | 5 | -58,5 | √ |
| 93 | 1 | -53,1 |   | 74 | 2 | -76,6 |   | 81 | 3 | -61,6 |   | 4  | 4 | -72,0 |   | 47 | 5 | -58,5 | √ |

В нашем примере режим \_25 автоматически скопировал обучающую выборку в распознаваемую выборку, но при реальном решении задачи о назначениях она вручную вводится в режиме \_41, а распознавание ее, т.е. количественное определение меры сходства всех объектов со всеми классами, что осуществляется в режиме \_42 (рисунок 9.4).

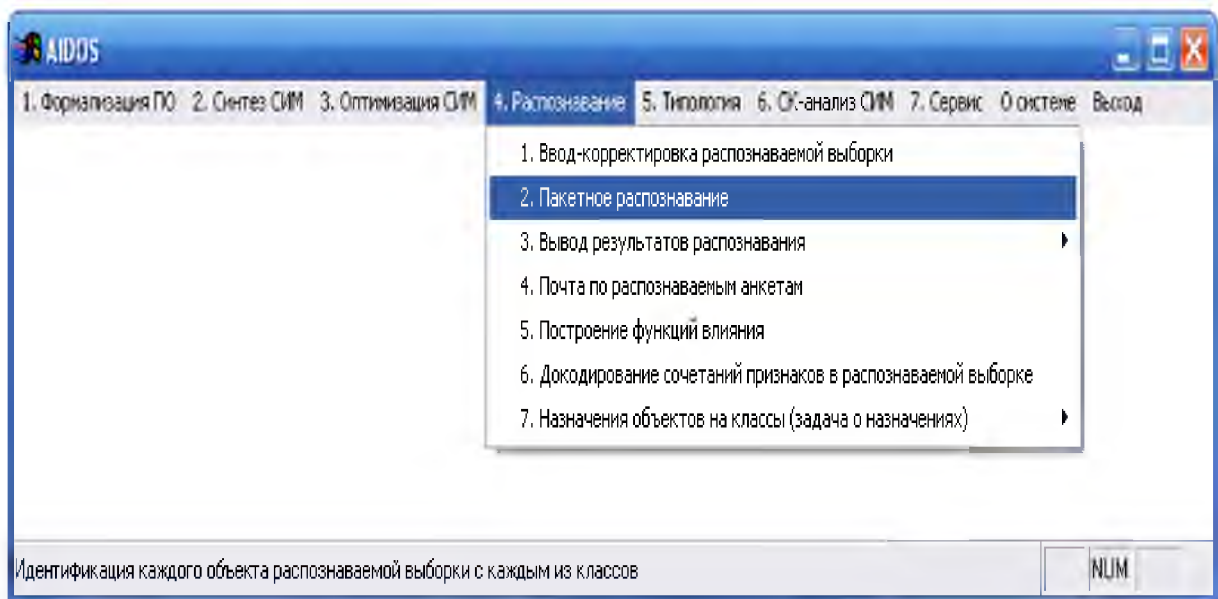


Рисунок 16.4 - Экранная форма выбора режима \_42 системы «Эйдос»

Когда эти базы сформированы, запускается режим \_47, обеспечивающий решение задачи о назначениях (рисунок 9.5):

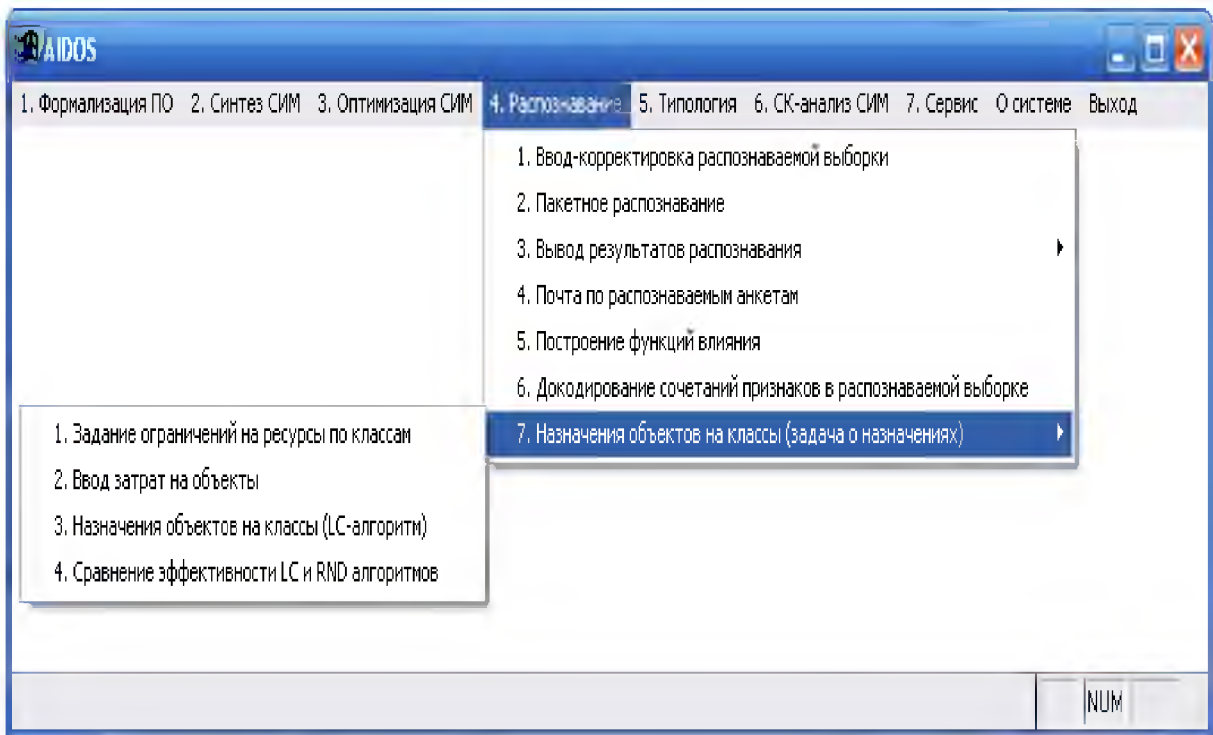


Рисунок 17 Экранная форма выбора режима \_47 системы «Эйдос»

Далее в режиме \_471 (рисунок 9.6) вводятся вручную или автоматически ресурсы классов, а в режиме \_472 (рисунок 9.7), также вручную или автоматически, затраты на объекты в результате чего формируются базы данных, представленные в таблицах 9.7 – 9.8.

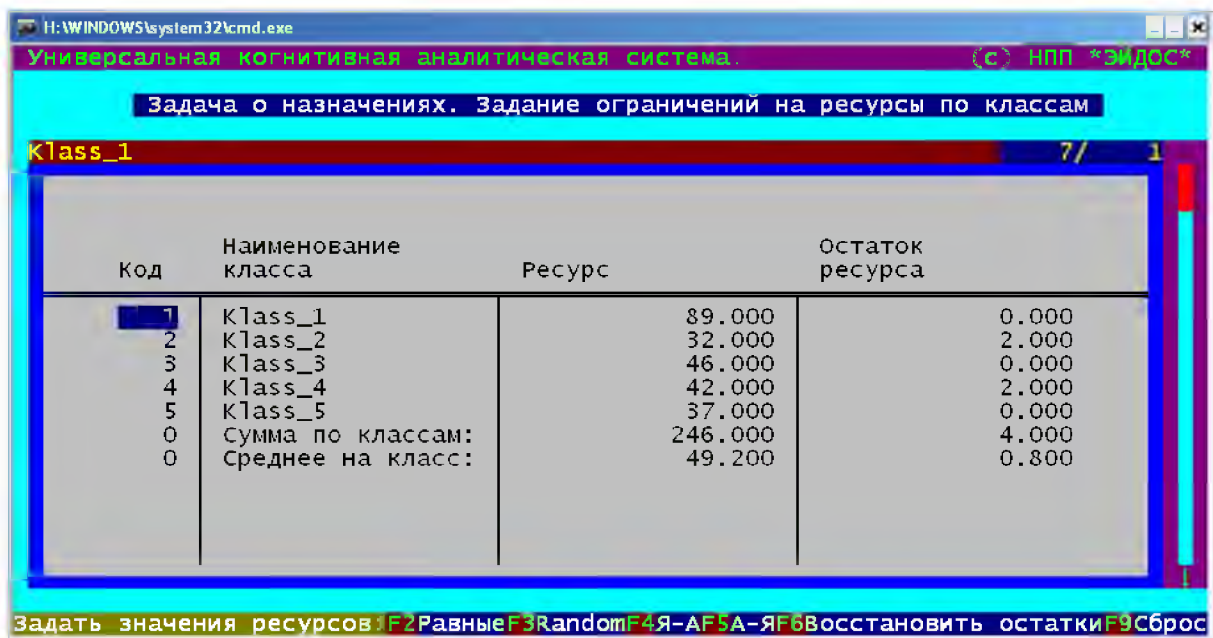


Рисунок 9.6 - Экранная форма режима \_471 ввода-корректировки ресурсов классов



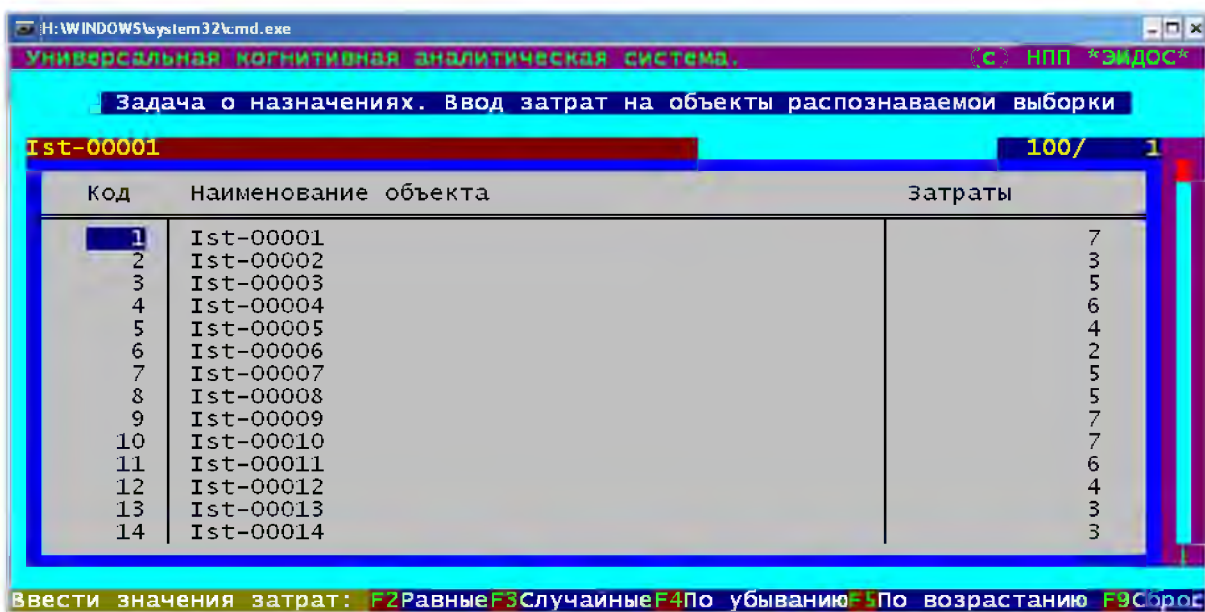


Рисунок 9.7 - Экранная форма режима \_472 ввода-корректировки затрат объектов

Таблица 9.6 - База данных ресурсов классов

| Код класса | Наименование класса | Ресурс  |
|------------|---------------------|---------|
| 1          | Klass 1             | 89,000  |
| 2          | Klass 2             | 32,000  |
| 3          | Klass 3             | 46,000  |
| 4          | Klass 4             | 42,000  |
| 5          | Klass 5             | 37,000  |
|            | Сумма по классам:   | 246,000 |
|            | Среднее на класс:   | 49,200  |

Таблица 9.7 – База данных на объекты (фрагмент)

| KOD | NAME      | ZATRATI | KOD | NAME      | ZATRATI |
|-----|-----------|---------|-----|-----------|---------|
| 1   | Ist-00001 | 7       | 51  | Ist-00051 | 9       |
| 2   | Ist-00002 | 3       | 52  | Ist-00052 | 10      |
| 3   | Ist-00003 | 5       | 53  | Ist-00053 | 6       |
| 4   | Ist-00004 | 6       | 54  | Ist-00054 | 8       |
| 5   | Ist-00005 | 4       | 55  | Ist-00055 | 10      |
| 6   | Ist-00006 | 2       | 56  | Ist-00056 | 9       |
| 7   | Ist-00007 | 5       | 57  | Ist-00057 | 4       |
| 8   | Ist-00008 | 5       | 58  | Ist-00058 | 2       |
| 9   | Ist-00009 | 7       | 59  | Ist-00059 | 4       |
| 10  | Ist-00010 | 7       | 60  | Ist-00060 | 10      |
| 11  | Ist-00011 | 6       | 61  | Ist-00061 | 3       |
| 12  | Ist-00012 | 4       | 62  | Ist-00062 | 6       |
| 13  | Ist-00013 | 3       | 63  | Ist-00063 | 4       |
| 14  | Ist-00014 | 3       | 64  | Ist-00064 | 4       |
| 15  | Ist-00015 | 6       | 65  | Ist-00065 | 8       |
| 16  | Ist-00016 | 7       | 66  | Ist-00066 | 4       |
| 17  | Ist-00017 | 9       | 67  | Ist-00067 | 7       |
| 18  | Ist-00018 | 5       | 68  | Ist-00068 | 7       |
| 19  | Ist-00019 | 3       | 69  | Ist-00069 | 10      |
| 20  | Ist-00020 | 6       | 70  | Ist-00070 | 3       |

Варианты автоматического формирования и ввода в базы данных ресурсов и затрат в этих режимах видны из рисунков 6 и 7.

После ввода ресурсов классов и затрат на объекты запускается режим \_473 (рисунок 8), который собственно и осуществляет назначения объектов на классы согласно алгоритма задачи 4, т.е. максимизируя пользу по классам и в целом по системе и при этом минимизируя остатки ресурсов классов, затраты по классам и общие затраты.

В результате работы данного режима формируются выходные формы, представленная в таблице 9.9.

Таблица 9.8. – База данных ресурсов классов

| Код класса | Наименование класса | Ресурс  | Остаток ресурса | Количество объектов | Суммарная польза | Сумма затрат | Средне-взвешенная удельная польза | Средняя польза | Средние затраты |
|------------|---------------------|---------|-----------------|---------------------|------------------|--------------|-----------------------------------|----------------|-----------------|
| 1          | Klass 1             | 89,000  | 0,000           | 17,000              | 712,5022397      | 89,000       | 8,0056431                         | 41,9118965     | 5,235           |
| 2          | Klass 2             | 32,000  | 2,000           | 8,000               | 467,2168469      | 30,000       | 15,5738949                        | 58,4021059     | 3,750           |
| 3          | Klass 3             | 46,000  | 0,000           | 11,000              | 518,6988525      | 46,000       | 11,2760620                        | 47,1544411     | 4,182           |
| 4          | Klass 4             | 42,000  | 2,000           | 11,000              | 617,5542042      | 40,000       | 15,4388551                        | 56,1412913     | 3,636           |
| 5          | Klass 5             | 37,000  | 0,000           | 9,000               | 408,5936439      | 37,000       | 11,0430715                        | 45,3992938     | 4,111           |
|            | Сумма по классам:   | 246,000 | 4,000           | 56,000              | 2724,5657872     | 242,000      | 61,3375266                        | 249,0090286    | 20,914          |
|            | Среднее на класс:   | 49,200  | 0,800           | 11,200              | 544,9131574      | 48,400       | 12,2675053                        | 49,8018057     | 4,183           |

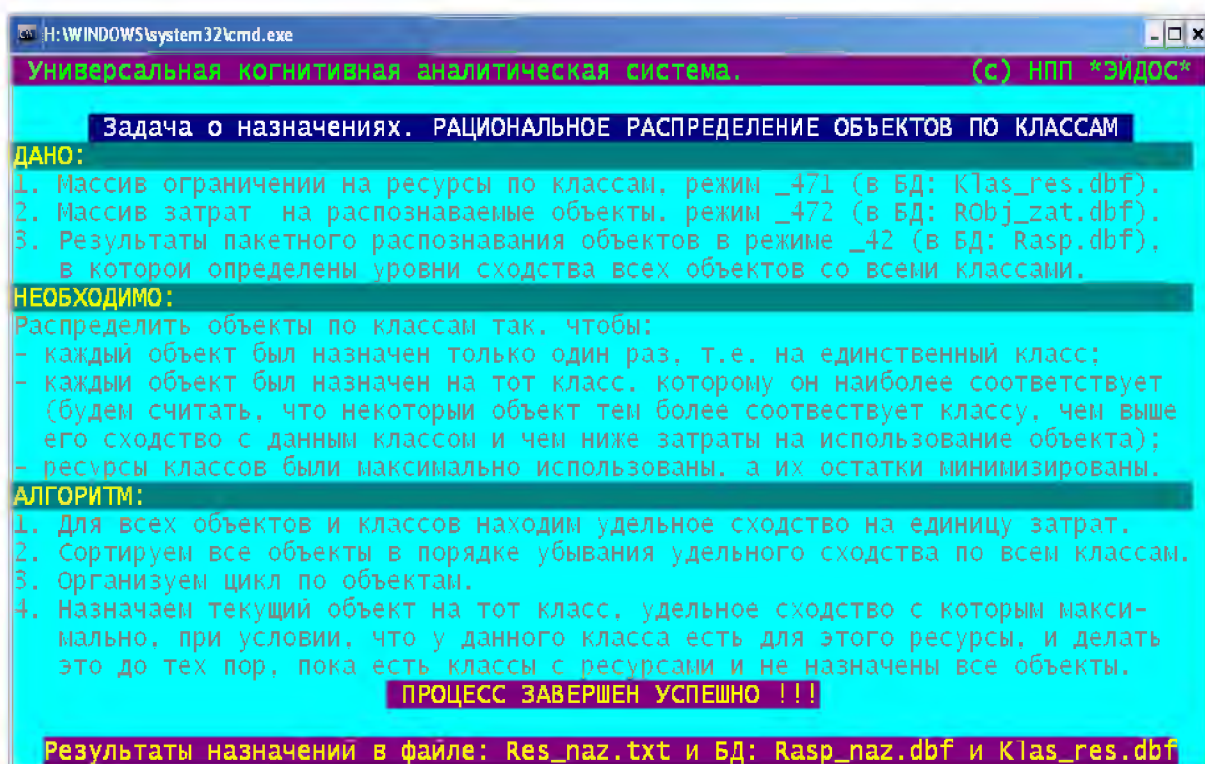


Рисунок 9.8 - Экранная форма режима \_473 назначения объектов на классы

Таблица 9.9 – Результаты назначений объектов распознаваемой выборки на классы

=====

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ:

СУММА ПО ВСЕМ КЛАССАМ:

Начальный ресурс: 246, остаток: 4

Суммарное сходство:.....2724.5657872

Фактические суммарные затраты:.....242

Средневзвешенное удельное сходство:.....61.3375266

Среднее на объект суммарное сходство:.....249.0090286

Средние на объект фактические суммарные затраты:...21

Всего назначено:.....56 объекта(ов)

~~~~~

СРЕДНЕЕ НА КЛАСС:

Начальный ресурс: 49.200, остаток: 0.800

Суммарное сходство:.....544.9131574

Фактические суммарные затраты:.....48.400

Средневзвешенное удельное сходство:.....12.2675053

Среднее на объект суммарное сходство:.....49.8018057

Средние на объект фактические суммарные затраты:...4.183

В среднем на класс назначено:.....11.200 объекта(ов)

=====

КЛАСС НАЗНАЧЕНИЯ:

Код: 1, наименование: Klass\_1, начальный ресурс: 89, остаток: 0

Суммарное сходство:.....712.5022397

Фактические суммарные затраты:.....89

Средневзвешенное удельное сходство:.....8.0056431

Среднее на объект суммарное сходство:.....41.9118965

Средние на объект фактические суммарные затраты:...5.235

Всего на данный класс назначено:.....17 объекта(ов);

Номер по пор.	Код объекта	Наименование объекта	Ур-нь сходст об.с классом	Затраты на назн. объекта	Удельное сход об. с классом
1	90	Ist-00090	35.2205677	1	35.2205677
2	21	Ist-00021	34.4137661	1	34.4137661
3	6	Ist-00006	53.0519770	2	26.5259885
4	58	Ist-00058	47.7400114	2	23.8700057
5	5	Ist-00005	51.7322895	4	12.9330724
6	28	Ist-00028	58.3606532	5	11.6721306
7	85	Ist-00085	53.0519770	5	10.6103954
8	65	Ist-00065	61.8074476	8	7.7259310
9	29	Ist-00029	35.2205677	5	7.0441135
10	91	Ist-00091	58.3606532	9	6.4845170
11	20	Ist-00020	35.2205677	6	5.8700946
12	1	Ist-00001	36.8947308	7	5.2706758
13	100	Ist-00100	47.1043333	10	4.7104333
14	78	Ist-00078	40.8870089	9	4.5430010
15	30	Ist-00030	22.6644450	5	4.5328890
16	86	Ist-00086	22.1189613	5	4.4237923
17	87	Ist-00087	18.6522823	5	3.7304565

=====

КЛАСС НАЗНАЧЕНИЯ:

Код: 2, наименование: Klass\_2, начальный ресурс: 32, остаток: 2

Суммарное сходство:.....467.2168469

Фактические суммарные затраты:.....30

Средневзвешенное удельное сходство:.....15.5738949

Среднее на объект суммарное сходство:.....58.4021059

Средние на объект фактические суммарные затраты:...3.750

Всего на данный класс назначено:.....8 объекта(ов);

Номер по пор.	Код объекта	Наименование объекта	Ур-нь сходст об.с классом	Затраты на назн. объекта	Удельное сход об. с классом
1	97	Ist-00097	31.9232794	1	31.9232794
2	13	Ist-00013	63.1013633	3	21.0337878



3	81	Ist-00081	62.9062481	3	20.9687494
4	50	Ist-00050	76.6495522	4	19.1623881
5	44	Ist-00044	63.5108619	5	12.7021724
6	93	Ist-00093	63.5108619	5	12.7021724
7	72	Ist-00072	63.1013633	5	12.6202727
8	64	Ist-00064	42.5133168	4	10.6283292

=====  
КЛАСС НАЗНАЧЕНИЯ:  
Код: 3, наименование: Klass\_3, начальный ресурс: 46, остаток: 0  
Суммарное сходство:.....518.6988525  
Фактические суммарные затраты:.....46  
Средневзвешенное удельное сходство:.....11.2760620  
Среднее на объект суммарное сходство:.....47.1544411  
Средние на объект фактические суммарные затраты:...4.182  
Всего на данный класс назначено:.....11 объекта(ов):

Номер по пор.	Код объекта	Наименование объекта	Ур-нь сходст об.с классом	Затраты на назн. объекта	Удельное сход об. с классом
1	43	Ist-00043	55.5838012	2	27.7919006
2	61	Ist-00061	56.8425916	3	18.9475305
3	94	Ist-00094	49.8391402	3	16.6130467
4	24	Ist-00024	46.7424653	3	15.5808218
5	63	Ist-00063	55.5838012	4	13.8959503
6	42	Ist-00042	22.9821121	2	11.4910561
7	12	Ist-00012	44.0710764	4	11.0177691
8	11	Ist-00011	52.7766247	6	8.7961041
9	74	Ist-00074	38.5802769	5	7.7160554
10	16	Ist-00016	48.1370433	7	6.8767205
11	89	Ist-00089	47.5599196	7	6.7942742

=====  
КЛАСС НАЗНАЧЕНИЯ:  
Код: 4, наименование: Klass\_4, начальный ресурс: 42, остаток: 2  
Суммарное сходство:.....617.5542042  
Фактические суммарные затраты:.....40  
Средневзвешенное удельное сходство:.....15.4388551  
Среднее на объект суммарное сходство:.....56.1412913  
Средние на объект фактические суммарные затраты:...3.636  
Всего на данный класс назначено:.....11 объекта(ов):

Номер по пор.	Код объекта	Наименование объекта	Ур-нь сходст об.с классом	Затраты на назн. объекта	Удельное сход об. с классом
1	95	Ist-00095	34.5572497	1	34.5572497
2	92	Ist-00092	69.4227545	3	23.1409182
3	34	Ist-00034	72.0227334	4	18.0056834
4	47	Ist-00047	72.0227334	4	18.0056834
5	19	Ist-00019	51.2415712	3	17.0805237
6	84	Ist-00084	51.2415712	3	17.0805237
7	80	Ist-00080	48.6415923	3	16.2138641
8	2	Ist-00002	46.1955575	3	15.3985192
9	32	Ist-00032	69.4227545	5	13.8845509
10	70	Ist-00070	41.5353662	3	13.8451221
11	40	Ist-00040	61.2503203	8	7.6562900

=====  
КЛАСС НАЗНАЧЕНИЯ:  
Код: 5, наименование: Klass\_5, начальный ресурс: 37, остаток: 0  
Суммарное сходство:.....408.5936439  
Фактические суммарные затраты:.....37  
Средневзвешенное удельное сходство:.....11.0430715  
Среднее на объект суммарное сходство:.....45.3992938  
Средние на объект фактические суммарные затраты:...4.111  
Всего на данный класс назначено:.....9 объекта(ов):

Номер по пор.	Код объекта	Наименование объекта	Ур-нь сходст об.с классом	Затраты на назн. объекта	Удельное сход об. с классом
1	49	Ist-00049	51.8183980	1	51.8183980
2	57	Ist-00057	60.6187779	4	15.1546945
3	3	Ist-00003	57.5283765	5	11.5056753
4	25	Ist-00025	62.1137448	6	10.3522908
5	71	Ist-00071	40.4988661	4	10.1247165
6	4	Ist-00004	58.5112721	6	9.7518787
7	18	Ist-00018	43.5892675	5	8.7178535
8	14	Ist-00014	22.7546711	3	7.5848904
9	22	Ist-00022	11.1602699	3	3.7200900

СПИСОК НЕНАЗНАЧЕННЫХ ОБЪЕКТОВ:

Номер по пор.	Код объекта	Наименование объекта	Затраты на назн. объекта
1	7	Ist-00007	5
2	8	Ist-00008	5
3	9	Ist-00009	7
4	10	Ist-00010	7
5	15	Ist-00015	6
6	17	Ist-00017	9
7	23	Ist-00023	8
8	26	Ist-00026	7
9	27	Ist-00027	6
10	31	Ist-00031	6
11	33	Ist-00033	8
12	35	Ist-00035	8
13	36	Ist-00036	5
14	37	Ist-00037	7
15	38	Ist-00038	7
16	39	Ist-00039	7
17	41	Ist-00041	7
18	45	Ist-00045	7
19	46	Ist-00046	8
20	48	Ist-00048	9
21	51	Ist-00051	9
22	52	Ist-00052	10
23	53	Ist-00053	6
24	54	Ist-00054	8
25	55	Ist-00055	10
26	56	Ist-00056	9
27	59	Ist-00059	4
28	60	Ist-00060	10
29	62	Ist-00062	6
30	66	Ist-00066	4
31	67	Ist-00067	7
32	68	Ist-00068	7
33	69	Ist-00069	10
34	73	Ist-00073	5
35	75	Ist-00075	8
36	76	Ist-00076	10
37	77	Ist-00077	8
38	79	Ist-00079	6
39	82	Ist-00082	10
40	83	Ist-00083	5
41	88	Ist-00088	8
42	96	Ist-00096	7
43	98	Ist-00098	9
44	99	Ist-00099	4

Итак, выполнено назначение объектов на классы, максимизирующее пользу по классам и в целом по системе и при этом минимизирующее остатки ресурсов классов, затраты по классам и общие затраты, при заданных затратах на каждый объект и ограничениях на ресурсы классов.

Теперь остается рассмотреть вопрос об эффективности этого назначения, как по времени, затраченному на расчет, так и по его результатам. Ведь не нужно забывать о том, что для него использован эвристический, а не оптимизационный алгоритм, т.е. ожидается хороший, рациональный вариант назначения, но его оптимальность строго не доказана и неизвестно, реализуется ли она.

Что касается *времени расчета* при той размерности задачи, которая используется в качестве примера в статье, т.е. 5 классов и 100 объектов, то оно занимает не более нескольких десятых долей секунды (субъективно оценивается как «мгновенно»). Более точную оценку времени исполнения мы дадим чуть позже. Необходимо отметить, что количество вариантов распределения 100 объектов по 5 классам составляет огромное число  $5^{100}$ , которое настолько велико, что даже не может быть вычислено стандартными средствами (например в Excel или на калькуляторе).

Конечно, наиболее убедительную оценку качества результатов распределения согласно предложенного алгоритма могло бы дать их сравнение с результатами распределения с использованием оптимизационного метода. Однако, сделать это не представляется возможным из-за ранее сформулированных проблем: труднодоступности соответствующего программного обеспечения и очень больших затрат времени на расчет. Поэтому предлагается сравнить результаты распределения с случайными распределениями (которые используются в качестве «контрольной группы» или «базы сравнения»), когда объекты назначаются на классы случайным образом. С целью осуществления такого сравнения в системе «Эйдос» реализован специальный режим \_474 (рисунок 9.9).

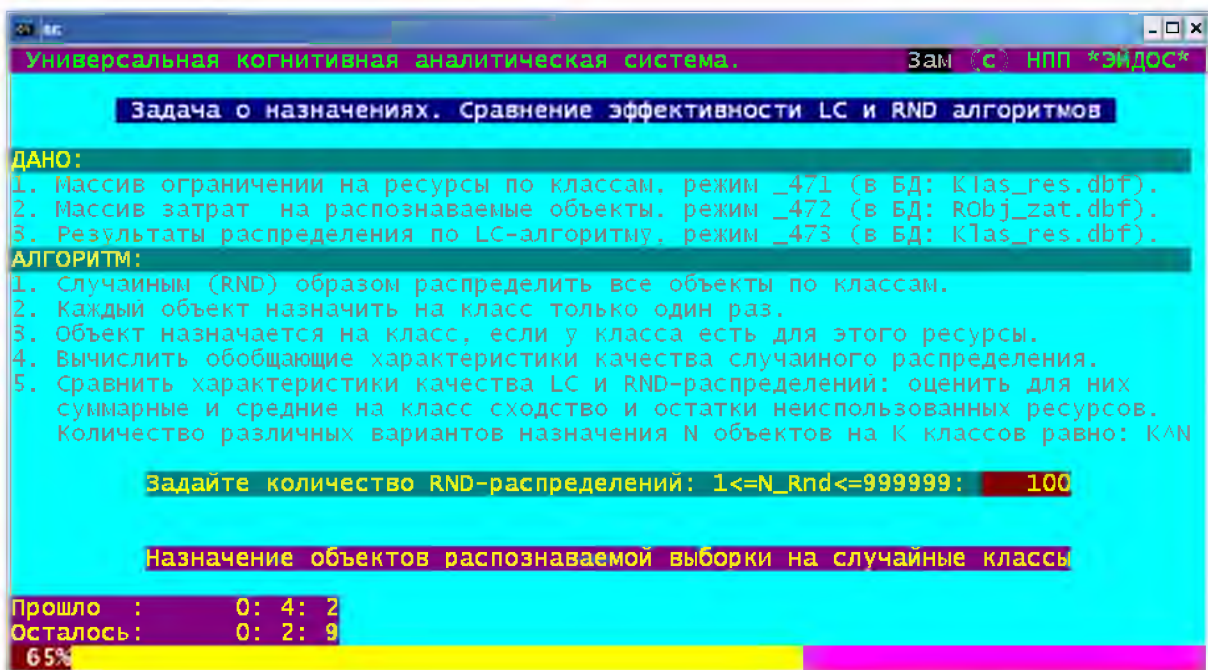


Рисунок 9.9 - Экранная форма режима \_474 системы «Эйдос»

С использованием данного режима сгенерировано 100 случайных распределений 100 объектов по 5 классам. При этом затраты на объекты и ресурсы классов взяты из баз данных рассматриваемого в статье примера.

Генерация этих 100 случайных примеров назначения проводилось в режиме \_474 практически по тому же алгоритму, что и реальное назначение в режиме \_473 с тем лишь отличием, что вместо пользы объектов для классов, определенной системой «Эйдос» на основе базы прецедентов по признакам объектов, использовалась равномерно распределенная случайная величина. Обобщенные результаты случайных распределений и их сравнение с результатами работы LC-алгоритма приведены в таблицах 11 и 12:

Таблица 9.10 - Суммарные результаты случайных распределений и их сравнение с результатами работы LC-алгоритма

Наименование	Ресурс	Остаток ресурса	Количество объектов	Суммарная польза	Сумма затрат	Средне-взвешенная удельная польза	Средняя польза	Средние затраты
Сумма по классам RND-распределения 1:	246,00	1,00	48,00	1337,55	245,00	28,47	141,30	25,06
Сумма по классам RND-распределения 2:	246,00	5,00	47,00	1333,13	241,00	26,93	140,92	26,55
Сумма по классам RND-распределения 3:	246,00	1,00	47,00	1335,69	245,00	27,48	147,26	27,02
Сумма по классам RND-распределения 4:	246,00	2,00	48,00	1319,55	244,00	27,67	135,57	26,52
Сумма по классам RND-распределения 5:	246,00	0,00	48,00	1082,86	246,00	23,28	113,05	24,86
Сумма по классам RND-распределения 6:	246,00	1,00	46,00	1184,75	245,00	24,19	129,85	26,83
Сумма по классам RND-распределения 7:	246,00	0,00	49,00	1392,75	246,00	28,86	144,68	25,53
Сумма по классам RND-распределения 8:	246,00	1,00	45,00	1433,77	245,00	30,07	164,93	27,60
Сумма по классам RND-распределения 9:	246,00	2,00	45,00	1144,47	244,00	24,32	124,96	26,59
Сумма по классам RND-распределения 10:	246,00	1,00	46,00	1235,11	245,00	23,74	126,54	27,15
Сумма по классам RND-распределения 11:	246,00	3,00	47,00	1235,82	243,00	25,05	131,00	26,68
Сумма по классам RND-распределения 12:	246,00	2,00	46,00	1150,55	244,00	25,19	126,40	26,04
Сумма по классам RND-распределения 13:	246,00	0,00	46,00	1443,05	246,00	31,34	162,17	26,15
Сумма по классам RND-распределения 14:	246,00	2,00	47,00	1377,03	244,00	30,07	153,09	25,84
Сумма по классам RND-распределения 15:	246,00	4,00	45,00	1071,00	242,00	21,57	113,22	27,27
Сумма по классам RND-распределения 16:	246,00	2,00	48,00	1352,60	244,00	28,64	141,21	25,08
Сумма по классам RND-распределения 17:	246,00	0,00	46,00	1192,05	246,00	24,38	132,99	27,34

Сумма по классам RND-распределения 18:	246,00	4,00	47,00	1305,87	242,00	25,90	131,19	27,66
Сумма по классам RND-распределения 19:	246,00	4,00	48,00	1276,37	242,00	26,19	130,96	25,08
Сумма по классам RND-распределения 20:	246,00	0,00	47,00	1364,36	246,00	28,74	148,78	26,62
Сумма по классам RND-распределения 21:	246,00	1,00	49,00	1467,36	245,00	32,90	153,76	24,74
Сумма по классам RND-распределения 22:	246,00	3,00	46,00	1263,43	243,00	25,27	135,44	27,24
Сумма по классам RND-распределения 23:	246,00	2,00	47,00	1483,08	244,00	28,89	152,49	27,24
Сумма по классам RND-распределения 24:	246,00	4,00	47,00	1350,79	242,00	29,40	146,97	25,90
Сумма по классам RND-распределения 25:	246,00	5,00	42,00	912,46	241,00	18,68	108,12	29,21
Сумма по классам RND-распределения 26:	246,00	2,00	47,00	1453,99	244,00	31,79	170,61	27,18
Сумма по классам RND-распределения 27:	246,00	6,00	50,00	1474,66	240,00	32,06	148,25	23,43
Сумма по классам RND-распределения 28:	246,00	3,00	47,00	1354,09	243,00	29,53	156,32	26,93
Сумма по классам RND-распределения 29:	246,00	2,00	45,00	1194,80	244,00	26,17	131,29	27,18
Сумма по классам RND-распределения 30:	246,00	3,00	49,00	1320,09	243,00	27,27	132,84	24,75
Сумма по классам RND-распределения 31:	246,00	0,00	46,00	1375,79	246,00	26,50	142,02	27,87
Сумма по классам RND-распределения 32:	246,00	1,00	47,00	1245,26	245,00	26,04	133,22	26,50
Сумма по классам RND-распределения 33:	246,00	1,00	49,00	1241,44	245,00	25,27	124,00	24,71
Сумма по классам RND-распределения 34:	246,00	1,00	46,00	1433,66	245,00	29,70	156,91	26,99
Сумма по классам RND-распределения 35:	246,00	1,00	48,00	1308,69	245,00	28,40	140,32	25,49
Сумма по классам RND-распределения 36:	246,00	3,00	47,00	1186,47	243,00	22,82	122,27	27,22
Сумма по классам RND-распределения 37:	246,00	3,00	50,00	1405,86	243,00	28,23	133,53	24,77
Сумма по классам RND-распределения 38:	246,00	2,00	45,00	1131,40	244,00	24,44	131,54	26,98
Сумма по классам RND-распределения 39:	246,00	1,00	48,00	1286,78	245,00	25,38	130,82	26,19
Сумма по классам RND-распределения 40:	246,00	0,00	51,00	1419,23	246,00	29,27	139,29	23,92
Сумма по классам RND-распределения 41:	246,00	1,00	45,00	1181,37	245,00	24,75	135,71	27,88
Сумма по классам RND-распределения 42:	246,00	0,00	49,00	1259,25	246,00	25,89	123,92	25,23
Сумма по классам RND-распределения 43:	246,00	3,00	48,00	1200,58	243,00	23,36	117,87	26,13
Сумма по классам RND-распределения 44:	246,00	1,00	46,00	1296,91	245,00	27,31	143,35	26,52
Сумма по классам RND-распределения 45:	246,00	2,00	48,00	1204,11	244,00	25,06	129,57	26,10
Сумма по классам RND-распределения 46:	246,00	1,00	47,00	1270,15	245,00	26,50	135,34	25,89
Сумма по классам RND-распределения 47:	246,00	3,00	41,00	977,97	243,00	19,75	110,34	30,81
Сумма по классам RND-распределения 48:	246,00	0,00	47,00	1361,09	246,00	26,91	139,57	26,80
Сумма по классам RND-распределения 49:	246,00	1,00	48,00	1369,46	245,00	28,07	143,21	25,94
Сумма по классам RND-распределения 50:	246,00	2,00	50,00	1474,56	244,00	30,75	149,38	24,44
Сумма по классам RND-распределения 51:	246,00	1,00	51,00	1440,30	245,00	32,61	153,54	23,81
Сумма по классам RND-распределения 52:	246,00	2,00	46,00	1207,79	244,00	24,99	132,45	27,07
Сумма по классам RND-распределения 53:	246,00	2,00	46,00	1339,79	244,00	28,04	145,81	27,00
Сумма по классам RND-распределения 54:	246,00	0,00	46,00	1230,21	246,00	23,26	125,24	27,10
Сумма по классам RND-распределения 55:	246,00	0,00	52,00	1568,95	246,00	33,32	153,27	23,67
Сумма по классам RND-распределения 56:	246,00	1,00	47,00	1367,95	245,00	26,09	135,18	27,04
Сумма по классам RND-распределения 57:	246,00	3,00	47,00	1233,70	243,00	25,71	130,14	26,00
Сумма по классам RND-распределения 58:	246,00	0,00	42,00	1293,03	246,00	26,50	152,81	29,75
Сумма по классам RND-распределения 59:	246,00	2,00	49,00	1286,35	244,00	26,89	131,97	24,65
Сумма по классам RND-распределения 60:	246,00	0,00	50,00	1374,77	246,00	28,67	143,03	24,83
Сумма по классам RND-распределения 61:	246,00	2,00	47,00	1421,14	244,00	31,38	153,01	25,30
Сумма по классам RND-распределения 62:	246,00	2,00	50,00	1427,58	244,00	29,72	144,71	25,81
Сумма по классам RND-распределения 63:	246,00	4,00	47,00	1034,05	242,00	21,56	109,90	26,63
Сумма по классам RND-распределения 64:	246,00	0,00	47,00	1442,41	246,00	30,42	153,76	25,40
Сумма по классам RND-распределения 65:	246,00	1,00	49,00	1562,19	245,00	30,90	155,11	25,42
Сумма по классам RND-распределения 66:	246,00	3,00	43,00	1101,76	243,00	20,12	117,85	29,59
Сумма по классам RND-распределения 67:	246,00	3,00	49,00	1419,75	243,00	30,31	150,90	24,96
Сумма по классам RND-распределения 68:	246,00	2,00	46,00	1461,10	244,00	30,12	158,81	26,37
Сумма по классам RND-распределения 69:	246,00	0,00	45,00	1283,34	246,00	25,78	137,29	27,21
Сумма по классам RND-распределения 70:	246,00	2,00	50,00	1390,90	244,00	28,43	135,46	25,18
Сумма по классам RND-распределения 71:	246,00	3,00	47,00	1318,17	243,00	25,93	130,03	27,62
Сумма по классам RND-распределения 72:	246,00	0,00	43,00	1199,83	246,00	22,94	131,41	29,54
Сумма по классам RND-распределения 73:	246,00	1,00	49,00	1499,65	245,00	31,64	158,98	25,19
Сумма по классам RND-распределения 74:	246,00	1,00	48,00	1268,48	245,00	25,77	129,26	26,32
Сумма по классам RND-распределения 75:	246,00	0,00	47,00	1338,61	246,00	27,70	141,88	26,98
Сумма по классам RND-распределения 76:	246,00	0,00	46,00	1134,79	246,00	20,81	114,72	27,87
Сумма по классам RND-распределения 77:	246,00	2,00	48,00	1310,69	244,00	26,47	134,37	25,74
Сумма по классам RND-распределения 78:	246,00	3,00	45,00	1122,43	243,00	24,73	127,79	26,44
Сумма по классам RND-распределения 79:	246,00	2,00	46,00	1206,27	244,00	23,69	127,57	27,27
Сумма по классам RND-распределения 80:	246,00	0,00	49,00	1469,15	246,00	30,29	155,41	26,19
Сумма по классам RND-распределения 81:	246,00	0,00	46,00	1253,88	246,00	26,63	139,59	26,76
Сумма по классам RND-распределения 82:	246,00	1,00	45,00	971,91	245,00	18,91	102,90	27,55
Сумма по классам RND-распределения 83:	246,00	0,00	44,00	1302,34	246,00	26,76	148,66	28,24
Сумма по классам RND-распределения 84:	246,00	1,00	46,00	1304,72	245,00	26,53	147,42	27,49

Сумма по классам RND-распределения 85:	246,00	5,00	48,00	1364,88	241,00	26,97	136,91	25,97
Сумма по классам RND-распределения 86:	246,00	3,00	48,00	1255,29	243,00	26,90	132,98	25,57
Сумма по классам RND-распределения 87:	246,00	1,00	51,00	1323,92	245,00	26,35	129,54	24,75
Сумма по классам RND-распределения 88:	246,00	3,00	49,00	1405,94	243,00	30,77	141,11	25,13
Сумма по классам RND-распределения 89:	246,00	1,00	45,00	1361,47	245,00	29,55	152,78	26,78
Сумма по классам RND-распределения 90:	246,00	1,00	44,00	1036,20	245,00	22,66	121,81	27,89
Сумма по классам RND-распределения 91:	246,00	1,00	48,00	1401,40	245,00	29,46	147,33	25,25
Сумма по классам RND-распределения 92:	246,00	0,00	45,00	1385,08	246,00	27,94	150,72	26,91
Сумма по классам RND-распределения 93:	246,00	3,00	49,00	1183,22	243,00	26,38	128,46	25,08
Сумма по классам RND-распределения 94:	246,00	2,00	48,00	1417,80	244,00	27,81	144,07	26,38
Сумма по классам RND-распределения 95:	246,00	2,00	46,00	1227,37	244,00	24,68	133,60	27,87
Сумма по классам RND-распределения 96:	246,00	3,00	48,00	1343,12	243,00	27,93	143,96	25,82
Сумма по классам RND-распределения 97:	246,00	0,00	50,00	1543,65	246,00	32,33	155,89	24,40
Сумма по классам RND-распределения 98:	246,00	3,00	49,00	1633,35	243,00	33,88	169,17	25,45
Сумма по классам RND-распределения 99:	246,00	0,00	46,00	1187,66	246,00	24,67	131,48	26,60
Сумма по классам RND-распределения 100:	246,00	0,00	48,00	1097,35	246,00	22,49	110,71	25,78
Сумма по всем RND-распределениям:	24600,00	165,00	4711,00	130228,78	24435,00	2692,84	13799,08	2635,23
Среднее сумм по всем RND-распределениям:	246,00	1,65	47,11	1302,29	244,35	26,93	137,99	26,35
Ср. кв. откл. сумм по всем RND-распределениям:	0,00	1,40	2,02	135,97	1,40	3,21	13,96	1,33
Сумма из LC-распределения:	246,00	4,00	56,00	2724,57	242,00	61,34	249,01	20,91
<b>Эффективность LC-алгоритма по сравнению с RND-алгоритмом в %:</b>	<b>100,00</b>	<b>242,42</b>	<b>118,87</b>	<b>209,21</b>	<b>99,04</b>	<b>227,78</b>	<b>180,45</b>	<b>79,36</b>

Таблица 9.11 - Средние результаты случайных распределений и их сравнение с результатами работы LC-алгоритма

Наименование	Ресурс	Остаток ресурса	Количество объектов	Суммарная польза	Сумма затрат	Средне-взвешенная удельная польза	Средняя польза	Средние затраты
Среднее на класс RND-распределения 1:	49,20	0,20	9,60	267,51	49,00	5,69	28,26	5,01
Среднее на класс RND-распределения 2:	49,20	1,00	9,40	266,63	48,20	5,39	28,18	5,31
Среднее на класс RND-распределения 3:	49,20	0,20	9,40	267,14	49,00	5,50	29,45	5,40
Среднее на класс RND-распределения 4:	49,20	0,40	9,60	263,91	48,80	5,53	27,11	5,31
Среднее на класс RND-распределения 5:	49,20	0,00	9,60	216,57	49,20	4,66	22,61	4,97
Среднее на класс RND-распределения 6:	49,20	0,20	9,20	236,95	49,00	4,84	25,97	5,37
Среднее на класс RND-распределения 7:	49,20	0,00	9,80	278,55	49,20	5,77	28,94	5,11
Среднее на класс RND-распределения 8:	49,20	0,20	9,00	286,75	49,00	6,01	32,99	5,52
Среднее на класс RND-распределения 9:	49,20	0,40	9,00	228,89	48,80	4,86	24,99	5,32
Среднее на класс RND-распределения 10:	49,20	0,20	9,20	247,02	49,00	4,75	25,31	5,43
Среднее на класс RND-распределения 11:	49,20	0,60	9,40	247,16	48,60	5,01	26,20	5,34
Среднее на класс RND-распределения 12:	49,20	0,40	9,20	230,11	48,80	5,04	25,28	5,21
Среднее на класс RND-распределения 13:	49,20	0,00	9,20	288,61	49,20	6,27	32,43	5,23
Среднее на класс RND-распределения 14:	49,20	0,40	9,40	275,41	48,80	6,01	30,62	5,17
Среднее на класс RND-распределения 15:	49,20	0,80	9,00	214,20	48,40	4,31	22,64	5,46
Среднее на класс RND-распределения 16:	49,20	0,40	9,60	270,52	48,80	5,73	28,24	5,02
Среднее на класс RND-распределения 17:	49,20	0,00	9,20	238,41	49,20	4,88	26,60	5,47
Среднее на класс RND-распределения 18:	49,20	0,80	9,40	261,17	48,40	5,18	26,24	5,53
Среднее на класс RND-распределения 19:	49,20	0,80	9,60	255,27	48,40	5,24	26,19	5,02
Среднее на класс RND-распределения 20:	49,20	0,00	9,40	272,87	49,20	5,75	29,76	5,32
Среднее на класс RND-распределения 21:	49,20	0,20	9,80	293,47	49,00	6,58	30,75	4,95
Среднее на класс RND-распределения 22:	49,20	0,60	9,20	252,69	48,60	5,05	27,09	5,45
Среднее на класс RND-распределения 23:	49,20	0,40	9,40	296,62	48,80	5,78	30,50	5,45
Среднее на класс RND-распределения 24:	49,20	0,80	9,40	270,16	48,40	5,88	29,39	5,18
Среднее на класс RND-распределения 25:	49,20	1,00	8,40	182,49	48,20	3,74	21,62	5,84
Среднее на класс RND-распределения 26:	49,20	0,40	9,40	290,80	48,80	6,36	34,12	5,44
Среднее на класс RND-распределения 27:	49,20	1,20	10,00	294,93	48,00	6,41	29,65	4,69
Среднее на класс RND-распределения 28:	49,20	0,60	9,40	270,82	48,60	5,91	31,26	5,39
Среднее на класс RND-распределения 29:	49,20	0,40	9,00	238,96	48,80	5,23	26,26	5,44
Среднее на класс RND-распределения 30:	49,20	0,60	9,80	264,02	48,60	5,45	26,57	4,95
Среднее на класс RND-распределения 31:	49,20	0,00	9,20	275,16	49,20	5,30	28,40	5,58
Среднее на класс RND-распределения 32:	49,20	0,20	9,40	249,05	49,00	5,21	26,64	5,30
Среднее на класс RND-распределения 33:	49,20	0,20	9,80	248,29	49,00	5,05	24,80	4,94

Среднее на класс RND-распределения 34:	49,20	0,20	9,20	286,73	49,00	5,94	31,38	5,40
Среднее на класс RND-распределения 35:	49,20	0,20	9,60	261,74	49,00	5,68	28,06	5,10
Среднее на класс RND-распределения 36:	49,20	0,60	9,40	237,29	48,60	4,56	24,45	5,45
Среднее на класс RND-распределения 37:	49,20	0,60	10,00	281,17	48,60	5,65	26,71	4,95
Среднее на класс RND-распределения 38:	49,20	0,40	9,00	226,28	48,80	4,89	26,31	5,40
Среднее на класс RND-распределения 39:	49,20	0,20	9,60	257,36	49,00	5,08	26,16	5,24
Среднее на класс RND-распределения 40:	49,20	0,00	10,20	283,85	49,20	5,85	27,86	4,78
Среднее на класс RND-распределения 41:	49,20	0,20	9,00	236,27	49,00	4,95	27,14	5,58
Среднее на класс RND-распределения 42:	49,20	0,00	9,80	251,85	49,20	5,18	24,78	5,05
Среднее на класс RND-распределения 43:	49,20	0,60	9,60	240,12	48,60	4,67	23,57	5,23
Среднее на класс RND-распределения 44:	49,20	0,20	9,20	259,38	49,00	5,46	28,67	5,30
Среднее на класс RND-распределения 45:	49,20	0,40	9,60	240,82	48,80	5,01	25,91	5,22
Среднее на класс RND-распределения 46:	49,20	0,20	9,40	254,03	49,00	5,30	27,07	5,18
Среднее на класс RND-распределения 47:	49,20	0,60	8,20	195,59	48,60	3,95	22,07	6,16
Среднее на класс RND-распределения 48:	49,20	0,00	9,40	272,22	49,20	5,38	27,91	5,36
Среднее на класс RND-распределения 49:	49,20	0,20	9,60	273,89	49,00	5,61	28,64	5,19
Среднее на класс RND-распределения 50:	49,20	0,40	10,00	294,91	48,80	6,15	29,88	4,89
Среднее на класс RND-распределения 51:	49,20	0,20	10,20	288,06	49,00	6,52	30,71	4,76
Среднее на класс RND-распределения 52:	49,20	0,40	9,20	241,56	48,80	5,00	26,49	5,41
Среднее на класс RND-распределения 53:	49,20	0,40	9,20	267,96	48,80	5,61	29,16	5,40
Среднее на класс RND-распределения 54:	49,20	0,00	9,20	246,04	49,20	4,65	25,05	5,42
Среднее на класс RND-распределения 55:	49,20	0,00	10,40	313,79	49,20	6,66	30,65	4,73
Среднее на класс RND-распределения 56:	49,20	0,20	9,40	273,59	49,00	5,22	27,04	5,41
Среднее на класс RND-распределения 57:	49,20	0,60	9,40	246,74	48,60	5,14	26,03	5,20
Среднее на класс RND-распределения 58:	49,20	0,00	8,40	258,61	49,20	5,30	30,56	5,95
Среднее на класс RND-распределения 59:	49,20	0,40	9,80	257,27	48,80	5,38	26,39	4,93
Среднее на класс RND-распределения 60:	49,20	0,00	10,00	274,95	49,20	5,73	28,61	4,97
Среднее на класс RND-распределения 61:	49,20	0,40	9,40	284,23	48,80	6,28	30,60	5,06
Среднее на класс RND-распределения 62:	49,20	0,40	10,00	285,52	48,80	5,94	28,94	5,16
Среднее на класс RND-распределения 63:	49,20	0,80	9,40	206,81	48,40	4,31	21,98	5,33
Среднее на класс RND-распределения 64:	49,20	0,00	9,40	288,48	49,20	6,08	30,75	5,08
Среднее на класс RND-распределения 65:	49,20	0,20	9,80	312,44	49,00	6,18	31,02	5,08
Среднее на класс RND-распределения 66:	49,20	0,60	8,60	220,35	48,60	4,02	23,57	5,92
Среднее на класс RND-распределения 67:	49,20	0,60	9,80	283,95	48,60	6,06	30,18	4,99
Среднее на класс RND-распределения 68:	49,20	0,40	9,20	292,22	48,80	6,02	31,76	5,27
Среднее на класс RND-распределения 69:	49,20	0,00	9,00	256,67	49,20	5,16	27,46	5,44
Среднее на класс RND-распределения 70:	49,20	0,40	10,00	278,18	48,80	5,69	27,09	5,04
Среднее на класс RND-распределения 71:	49,20	0,60	9,40	263,63	48,60	5,19	26,01	5,52
Среднее на класс RND-распределения 72:	49,20	0,00	8,60	239,97	49,20	4,59	26,28	5,91
Среднее на класс RND-распределения 73:	49,20	0,20	9,80	299,93	49,00	6,33	31,80	5,04
Среднее на класс RND-распределения 74:	49,20	0,20	9,60	253,70	49,00	5,15	25,85	5,26
Среднее на класс RND-распределения 75:	49,20	0,00	9,40	267,72	49,20	5,54	28,38	5,40
Среднее на класс RND-распределения 76:	49,20	0,00	9,20	226,96	49,20	4,16	22,94	5,57
Среднее на класс RND-распределения 77:	49,20	0,40	9,60	262,14	48,80	5,29	26,87	5,15
Среднее на класс RND-распределения 78:	49,20	0,60	9,00	224,49	48,60	4,95	25,56	5,29
Среднее на класс RND-распределения 79:	49,20	0,40	9,20	241,25	48,80	4,74	25,51	5,45
Среднее на класс RND-распределения 80:	49,20	0,00	9,80	293,83	49,20	6,06	31,08	5,24
Среднее на класс RND-распределения 81:	49,20	0,00	9,20	250,78	49,20	5,33	27,92	5,35
Среднее на класс RND-распределения 82:	49,20	0,20	9,00	194,38	49,00	3,78	20,58	5,51
Среднее на класс RND-распределения 83:	49,20	0,00	8,80	260,47	49,20	5,35	29,73	5,65
Среднее на класс RND-распределения 84:	49,20	0,20	9,20	260,94	49,00	5,31	29,48	5,50
Среднее на класс RND-распределения 85:	49,20	1,00	9,60	272,98	48,20	5,39	27,38	5,19
Среднее на класс RND-распределения 86:	49,20	0,60	9,60	251,06	48,60	5,38	26,60	5,11
Среднее на класс RND-распределения 87:	49,20	0,20	10,20	264,78	49,00	5,27	25,91	4,95
Среднее на класс RND-распределения 88:	49,20	0,60	9,80	281,19	48,60	6,15	28,22	5,03
Среднее на класс RND-распределения 89:	49,20	0,20	9,00	272,29	49,00	5,91	30,56	5,36
Среднее на класс RND-распределения 90:	49,20	0,20	8,80	207,24	49,00	4,53	24,36	5,58
Среднее на класс RND-распределения 91:	49,20	0,20	9,60	280,28	49,00	5,89	29,47	5,05
Среднее на класс RND-распределения 92:	49,20	0,00	9,00	277,02	49,20	5,59	30,14	5,38
Среднее на класс RND-распределения 93:	49,20	0,60	9,80	236,64	48,60	5,28	25,69	5,02
Среднее на класс RND-распределения 94:	49,20	0,40	9,60	283,56	48,80	5,56	28,81	5,28
Среднее на класс RND-распределения 95:	49,20	0,40	9,20	245,47	48,80	4,94	26,72	5,57
Среднее на класс RND-распределения 96:	49,20	0,60	9,60	268,62	48,60	5,59	28,79	5,16
Среднее на класс RND-распределения 97:	49,20	0,00	10,00	308,73	49,20	6,47	31,18	4,88
Среднее на класс RND-распределения 98:	49,20	0,60	9,80	326,67	48,60	6,78	33,83	5,09
Среднее на класс RND-распределения 99:	49,20	0,00	9,20	237,53	49,20	4,93	26,30	5,32
Среднее на класс RND-распределения 100:	49,20	0,00	9,60	219,47	49,20	4,50	22,14	5,16



Сумма средних по всем RND-распределениям:	4920,0	33,00	942,20	26045,7	4887,0	538,57	2759,8	527,05
Среднее средних по всем RND-распределениям:	49,20	0,33	9,42	260,46	48,87	5,39	27,60	5,27
Ср. кв. откл. средних по всем RND-распределениям:	0,00	0,28	0,40	27,19	0,28	0,64	2,79	0,27
Среднее из LC-распределения:	49,20	0,80	11,20	544,91	48,40	12,27	49,80	4,18
<b>Эффективность LC-алгоритма по сравнению с RND в %:</b>	<b>100,00</b>	<b>242,42</b>	<b>118,87</b>	<b>209,21</b>	<b>99,04</b>	<b>227,78</b>	<b>180,45</b>	<b>79,37</b>

Из таблиц 2.10-9.11 видно, что использование LC-алгоритма **более чем в 2 раза** повышает среднюю пользу по системе по сравнению со случайным назначением. В реальных примерах это превышение может быть значительно большим, т.к. в примере, рассматриваемом в данной статье, объекты обладают случайными признаками и случайным образом отнесены к классам.

Кратко рассмотрим возможные применения задачи о назначениях в области педагогики и психологии. СК-анализ и система «Эйдос» позволяют разработать профессиограммы, т.е. на основе ретроспективной базы данных определить, какие признаки респондентов (первичные, устанавливаемые непосредственно, вторичные, т.е. расчетные) наиболее характерны для работников, успешно работающих по тем или иным должностям [1, 4, 6, 8-10]. Аналогично, могут быть разработаны профессиограммы, отражающие успешность обучения по тем или иным специальностям, дисциплинам и циклам дисциплин [1-3, 6, 7]. Во всех этих случаях можно и решить задачу о назначениях, т.е. распределить кандидатов, претендующих на ту или иную оплату труда (затраты), на должности, в соответствии с ограничениями на фонд оплаты труда по эти должностям, причем сделать это таким образом, что и для каждого работника, и по каждой должности, и по организации в целом, будет получена максимальная польза.

**Выводы.** На основе вышеизложенного на наш взгляд можно обоснованно предположить, что системно-когнитивный анализ и его инструментарий – система «Эйдос» являются адекватным средством для решения задачи о назначениях ранее не встречавшегося в литературе обобщения задачи о назначениях, учитывающего не только различную полезность одного и того же груза для разных рюкзаков, различные затраты на грузы и ресурсы рюкзаков, но и обеспечивающего автоматическое определение степени этой полезности на основе признаков груза путем решения задачи распознавания.

Материалы данной статьи могут стать основой для нескольких лабораторных работ по дисциплинам:

- «Интеллектуальные информационные системы»,
- «Представление знаний»,
- «Интеллектуальные информационные технологии»,
- «Системы управления знаниями»,
- «Человеко-машинное взаимодействие»

и может *применяться* в вузах, готовящих специалистов по специальностям :

- «Прикладная информатика» и
- «Информационные системы и технологии».

## 10 Лекция-10. Управление качеством жизни -населения региона<sup>150</sup>

### 2.10.1 Формальная постановка задачи и синтез многоуровневой модели влияния инвестиций на экономическую составляющую качества жизни

В разделе описана конкретная система шкал и градаций, позволяющая формализовать как первичные показатели, характеризующие развитие производственной сферы и инвестиционную политику, так и вторичные показатели, являющиеся частными критериями оценки экономической составляющей качества жизни населения региона. Предложен интегральный критерий, позволяющий в сопоставимой форме количественно оценивать качество жизни населения в различные годы и в различных регионах, представляющий собой аддитивную функцию от частных критериев. Спроектирована обучающая выборка, количественно характеризующая Краснодарский край по большому числу показателей за 1991–2003 годы. Обучающая выборка автоматически импортирована в универсальную когнитивную аналитическую систему "Эйдос", в которой и осуществлен поэтапный синтез многоуровневой семантической информационной модели, отражающей, в частности, влияние объемов и структуры инвестиций на качество жизни населения региона.

#### Предпосылки и задачи исследования

В работе [2] нами впервые предложено и обосновано новое научное понятие "гуманистическая экономика", которое рассматривается, с одной стороны, как экономика, направленная на благо основной массы населения, а не на получение максимальной прибыли, а с другой стороны, как приоритет деятельности региональной администрации. Понятие "гуманистическая экономика" сопоставляется с понятием "социально-ориентированная экономика". Если первая ориентирована на увеличение численности наиболее активной и успешной части населения, то вторая – лишь на поддержку малоимущих слоев. Предложен интегральный критерий оценки степени гуманистической ориентации экономики: уровень качества жизни населения, прежде всего, его экономическая составляющая. Поставлена задача управления качеством жизни и предложена принципиальная когнитивная модель этой системы управления.

---

<sup>150</sup> Ткачев А.Н. Формальная постановка задачи и синтез многоуровневой модели влияния инвестиций на экономическую составляющую качества жизни / А.Н. Ткачев, Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2004. – №04(006). С. 185 – 213. – IDA [article ID]: 0060404017. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2004/04/pdf/17.pdf>. 1,812 у.п.л.

Ткачев А.Н. Исследование многоуровневой семантической информационной модели влияния инвестиций на уровень качества жизни населения региона / А.Н. Ткачев, Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2004. – №04(006). С. 228 – 267. – IDA [article ID]: 0060404019. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2004/04/pdf/19.pdf>. 2,5 у.п.л.

В работе [3] идеи, обоснованные на концептуальном уровне в работе [2], конкретизированы до уровня экономической постановки задачи. Изменение качества жизни предложено рассматривать как важнейший интегральный критерий оценки результативности деятельности региональной администрации. Изучена структура и содержание понятия "качество жизни", конкретизированы количественные частные критерии, входящие в состав данного интегрального критерия [4]. Поставлена задача исследования влияния на качество жизни различных факторов, среди которых рассматриваются: инвестиционная политика и активность, развитие транспортной инфраструктуры, перерабатывающей промышленности, материально-технического снабжения, состояние различных сегментов рынка, структура себестоимости продукции, производственные результаты, налоговые поступления. В этом смысле конкретизирована и принципиальная когнитивная модель, отражающая иерархическую структуру системы факторов, влияющих на качество жизни, в рамках которой структура и объем инвестиций выступают как экономический регулятор, в принципе позволяющий управлять качеством жизни населения на уровне региона.

Поэтому в данной статье мы не будем рассматривать вышеперечисленные вопросы и видим ее задачу в дальнейшей конкретизации полученных в [2, 3] результатов до уровня формальной постановки задачи и синтеза конкретной семантической информационной модели управления качеством жизни населения в регионе (на примере Краснодарского края). При этом будем основываться на методологии, технологии и инструментарии системно-когнитивного анализа, предложенных в работе [1].

### **Инструментарий представления и формализации исходной информации**

Для выполнения этой задачи по нашей инициативе Краснодарским краевым комитетом статистики на основе инструментария, обоснованного в работе [3], включающего 61 показатель, характеризующий уровень качества жизни, было проведено статистическое исследование с целью получения информации за 199–2003 годы по максимально возможному количеству показателей.

После этого показатели, по которым не удалось получить данных, были отброшены, а из оставшихся были сконструированы наименования классификационных и описательных шкал.

Результаты этой работы представлены в таблице 1.

Из этой таблицы видно, что из 61 рекомендованного в работе [3] показателя данные удалось получить лишь по 17. Это связано с тем, что данная система показателей не стандартизирована и по ней не ведется систематический сбор и накопление статической информации.

Таблица 10.1 - Динамика предметной области

№	Наименование показателя	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
1	ВРП на душу нас.в тек.ценах тыс.руб.,с 1998г.-руб.				2237	6159	9037	8985	10817	20924	29931	37682	46543	
2	ВРП на душу нас.тыс.руб.,с 1998г.-руб.				4421	6705	7433	8558	14413	20358				
3	% ВРП,приходящийся на сферу обслуживания.(рын.и нерын.)				41,3	47,1	52	56,2	54,2	48,7	43,5	45	52,6	
4	Доля доходов 20% населения с наивысшими доходами						44,6	45,3	43	46,2	45,4	44,2	44,7	44,8
5	Уровень инфляции (потребительских цен) (%)	31,7	2610,8	996,1	322,2	242	118,5	112	171,2	135	117,9	123,6	116,2	110,6
6	Уровень безработицы в % от экон.активного населения				8,4	9,3	10,7	16,5	16,3	15,2	12,5	10,7	7,6	10,1
7	ВРП млрд.руб. с 1998г. млн.руб.				11120	30943	45699	45577	54866	106033	151405	190404	234504	
8	Автодороги с твердым покрытием, всего км.					25707	25760	24878	25838	25709	26039	25850	25974	
9	Железнодорожные пути общего пользования, всего км.					2166	2166	2166	2174	2174	2193	2137	2126	
10	Козфф.концентрации доходов - индекс Джини						0,38	0,39	0,36	0,4	0,39	0,36	0,38	0,39
11	Доля жилищного фонда, нах.в частной собств.(%)								80	82	83	85	87	
12	Доля населения с доходами ниже прож.минимума (%)						24	23,3	25	36,1	42,8	36,8	31,2	29,8
13	Токсикоманов, наркоманов, алкоголиков на 100000 жит.	129,2	84	118,1	149,9	128,8	116,8	107,7	111,2	151,3	175,2	177,4	171,4	169,9
14	Вредных веществ выбр.в атмосферу от стацисточн.	243	203,3	152	123,7	105,1	84,8	82	79,6	98,5	95,5	103,8	107,7	115,3
15	Окси углерода выбр.в атмосферу от стацисточн.	44	43	35	28,2	26	19,5	18,6	18,7	39	28,6	32,6	31,6	34,3
16	Площадь закрепл.охотничьих угодий	6577,4	6577,4	6577,4	6577,5	6577,6	6577,7	6577,8	6577,9	6577,1	6577,11	6577,12	6577,13	6577,14
17	Площадь заповедников, национальных парков	468	468,1	468,2	468,3	468,4	468,5	468,6	468,7	468,8	468,9	468,1	468,11	468,12
1	Инвестиции в основной капитал - всего, млн.руб.	5	62	743	2717	6972	10290	9933	12090	26243	54734	63395	74655	70462
2	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - всего, млн.руб.	5	62	743	2544	5065	6432	6159	7520	21297	48218	51454	57685	53035
3	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, млн.руб.	1	12	100	410	1059	1594	1600	2421	3361	4668	5430	7823	8300
4	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО, млн.руб.	2	15	88	238	464	729	644	555	1315	2137	2732	3371	4076
5	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО, млн.руб.			1	3	3	3	4	6	24	28	16	15	27
6	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - ТРАНСПОРТ, млн.руб.		7	171	368	848	1455	1130	2183	11034	32626	31483	32719	18492
7	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - СВЯЗЬ, млн.руб.		1	6	41	107	221	275	408	429	1184	2534	3888	10760
8	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - СТРОИТЕЛЬСТВО, млн.руб.		2	24	85	212	111	112	133	179	590	1504	2309	3157
9	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - ТОРГОВЛЯ И ОБЩЕСТВЕННОЕ ПИТАНИЕ, млн.руб.			3	12	17	16	14	16	53	204	501	783	914
10	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - ПРОЧИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОТРАСЛИ, млн.руб.		1	4	30	46	98	86	195	487	800	637	854	636
11	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОЕ ХОЗЯЙСТВО, млн.руб.	1	17	263	1019	1341	1218	903	758	1057	1274	1580	2268	2136
12	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - ЗДРАВООХРАНЕНИЕ, ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И СОЦИАЛЬНОЕ ОБЕСП	6	61	247	786	791	1167	773	3199	4363	4371	2840	3074	
13	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - ОБРАЗОВАНИЕ, млн.руб.	1	8	23	43	51	39	40	43	54	156	151	309	
14	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - КУЛЬТУРА И ИСКУССТВО, млн.руб.	0	2	5	5	15	16	8	5	18	93	77	65	
15	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - НАУКА И НАУЧНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, млн.руб.	0	1	3	4	3	2	7	31	118	198	130	47	
16	Инв. в осн.кап.по крупн. и средн.предпр. - ПРОЧИЕ НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОТРАСЛИ, млн.руб.	1	0	11	60	130	127	167	17	80	146	219	457	1042
17	Инвестиции в основной капитал АПК по крупным и средним предприятиям - всего, млн.руб.	2	28	245	670	1025	1256	1093	1559	2973	4059	5306	7869	8296
18	Выращено мяса (реализация) по всем категориям хозяйств	773,3	640,2	535,3	487,3	394,1	374	319,1	291	286,8	340	366,1	389	421
19	Получено молока по всем категориям хозяйств	1948	1669	1590	1626	1473	1350	1117	1081	1137,4	1270,6	1361,7	1417	1419
20	Получено яиц по всем категориям хозяйств	1752,2	1573,2	1402,4	1412,8	1316	1205,5	1167,2	1207,9	1153,9	1390,3	1462,5	1512	1476
21	Получено шерсти по всем категориям хозяйств	3,1	2,7	2	1,5	1	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
22	Выращено мяса (реализация) по сельхозпредприятиям	546,6	438	345,6	299,4	221,9	206,2	153,6	131,1	131,4	165,7	181,8	192	215
23	Получено молока по сельхозпредприятиям	1746,7	1429,5	1286,7	1261,8	1132,4	1013,7	806	791,5	834,0	914,2	965,8	1004	979
24	Получено яиц по сельхозпредприятиям	1160,9	981,3	809,2	786,8	718,9	686	586,4	645,5	617,8	819,3	861,8	886	848
25	Получено шерсти по сельхозпредприятиям	2,9	2,5	1,7	1,3	0,8	0,6	0,4	0,3	0,18	0,18	0,19	0,18	0,18
26	Объем производства продукции всего по АПК	683,5	4304,2			6771	8831	9270	11608	23486	29533	35676	45602	
27	Объем производства продукции по отраслям, обеспечивающим АПК средствами производства	670,2	4176,9			434	715	658	828	1485	2033	2167	1584	
28	Объем производства продукции по отраслям АПК, перерабатывающим сельскохозяйственное сырье	13,3	127,3	1010	2233	6337	8116	8612	10780	22001	27500	33509	44018	52617
29	Объем производства продукции по пищевым предприятиям АПК	12,1	117,2	948	2080	5474	6877	7440	9362	20002	24535	30019	39839	48599

Продолжение таблицы 10.1

№	Наименование показателя	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
30	Объем производства продукции по шукольно-крупным и комбикормовым предприятиям АПК	1,2	10,1	62	153	852	1239	1172	1406	1981	2947	3461	4179	4218
31	Объем производства продукции в % прошлому году, всего по АПК	96,5	84,5	90	82,5	85	89	89	102	126	103	96	116	
32	Объем производства продукции в % к прошлому году, по отраслям, обеспечивающим АПК средствами производства	100,5	84	92	55,6	77	93	75	115	105	94	84	123	
33	Объем производства продукции в % к прошлому году, по отраслям АПК, перерабатывающим сельскохозяйственное сырье	96,3	84,5	90	85,5	85	89	97	101	161	104	98	114	102
34	Объем производства продукции в % к прошлому году, по пищевым предприятиям АПК	96,1	84,8	91	84	86	88	98	105	122	113	93	117	103
35	Объем производства продукции в % к прошлому году, по шукольно-крупным и комбикормовым предприятиям АПК	96,9	81,8	80	102,6	82	89	80	95	102	126	103	90	92
36	Валовой сбор зерновых и зернобобовых	7930	7357	7361	5756	5727	4523	6087	3532	6357	6792	7981,5	8481,2	5221
37	Валовой сбор пшеницы	4944	4458	3948	3202	3501	2722	3640	1962	4230	4074	5290,5	5393,1	2815
38	Валовой сбор ячменя	1417	1321	1340	446	674	785	860	806	1214	1471	1811,1	1825	1089
39	Валовой сбор кукурузы	744	730	930	349	619	279	1044	329	423	587	252,1	632,9	827
40	Валовой сбор риса	440	494	470	395	347	290	236	314	336	462	392,5	406,7	371
41	Валовой сбор сахарной свеклы	5850	5196	5769	3686	4236	3794	3533	2134	2936	2827	3047,7	4202,3	3380
42	Валовой сбор подсолнечника	613	579	626	654	817	580	326	570	613	622	468,7	732,4	798
43	Валовой сбор сои	78,1	59,4	71,1	40,9	35,5	32	45	42	48	54	35,6	96,5	103
44	Производство продукции сельскими хозяйствами всех категорий	5536	4716	4780	3920	9221	12871	13817	13745	30101	48056	63045	68355	73378
45	Производство продукции сельскохозяйственными предприятиями	4468	3623	3589	2907	5769	7808	8030	7416	18302	29994	38662	40827	44027
46	Производство продукции хозяйствами населения	1062	1022	1058	899	3149	4748	5251	5924	10572	15865	21190	23036	24948
47	Производство продукции крестьянскими (фермерскими) хозяйствами	6	71	133	92	303	315	536	405	1227	2197	3193	4492	4403
48	Поголовье крупного рогатого скота (КРС)	1650	1548	1414	1309	1182	1083	942	811	740	750	737	733	729
49	Поголовье коров	518	499	460	443	405	366	334	312	393	290	279	271	262
50	Поголовье свиней	2581	2318	2006	1725	1383	1350	1193	1003	990	1225	1171	1242	1337
51	Поголовье овец	749	690	551	390	271	202	140	93	61	59	56	54	51
52	Поголовье птицы	21	20	16	17	13	11	7	7	7	8	9	10	8
53	Средний удой шолока от одной коровы	3384	2886	2804	2854	2809	2745	2488	2659	2864	3181	3529	3750	3820
54	Средний настриг шерсти от одной овцы	3,9	3,6	3,2	3,3	3	3	2,7	2,7	3	3	3,3	3	3
55	Средняя яйценоскость одной курицы-несушки	225	212	193	188	189	192	207	214	222	248	258	264	269
56	Расход кормов на одну голову условного скота	32,3	32,8	33,7	33,8	33,8	34,2	34,1	36	31,8	35,1	34	34,9	32
№	Наименование показателя	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
57	Расход концентрированных кормов на 1 голову условного скота	15,8	15,5	15	14,8	14,6	13,5	13,4	14,6	14,2	16,1	15,6	16,6	14,5
58	Число предприятий, входящих в АПК, промышленность - всего	3234	3257	3079	3683	3753	3963	3753	3784	3937	3430	4159	2922	2987
59	Число предприятий, входящих в АПК, крупные и средние предприятия	268	271	249	284	297	298	297	288	275	248	283	288	291
60	Число предприятий, входящих в АПК, состоящие на балансе сельскохозяйственных и других непромышленных предприятий	2966	2908	2597	2611	2587	2676	2587	2569	2963	2397	3028	1641	1716
61	Число предприятий, входящих в АПК, малые предприятия	0	78	475	788	849	967	849	927	699	785	848	993	980
62	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску МЯСА (%)	74	66	62	50	35	30	21	13	12	24	28	32	34
63	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску МАСЛА ЖИВОТНОГО (%)	53	49	60	59	46	36	26	28	28	31	31	30	28
64	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску ЦЕЛЬНОМОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ (%)	75	32	26	27	22	23	27	33	35	53	55	62	64
65	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску САХАРА ПЕСКА (%)	92	92	93	93	93	87	93	79	82	83	85	93	91
66	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску КОНСЕРВ ПЛОДОВООЩНЫХ (%)	62	48	50	38	27	18	18	15	24	40	38	45	46
67	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску ВИНА Виноградного (%)	63	48	31	35	27	16	12	14	20	21	20	25	27
68	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску МУКИ (%)	87	90	86	53	88	82	65	62	79	65	79	57	58
69	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску КОМБИКОРМОВ (%)	99	72	52	39	39	31	20	17	14	15	17	15	14
70	Цены реализации сельхозпредприятиями крупного рогатого скота	0,4	0,3	0,3	0,7	2,6	3,5	4,1	5,7	11,5	13,7	18,7	20,8	21,8
71	Цены реализации сельхозпредприятиями свиней	0,3	0,3	0,4	1	3,6	4,6	6	8,3	14,2	17,3	26,9	26,3	24,4
72	Цены реализации сельхозпредприятиями птицы	0,4	0,3	0,4	1,2	4,4	5,5	7,3	8,5	15,7	19,8	24,4	24,9	28,7
73	Цены реализации сельхозпредприятиями молока и молочных продуктов	0,06	0,06	0,05	0,2	0,8	0,9	1,1	1,3	2,9	3,4	4,3	4	4,8
74	Цены реализации перерабатывающими предприятиями говядины	1,5	1,55	1,67	3,69	9,5	9,77	13,02	20,2	33,2	42,7	51,8	47,42	43,3

окончание таблицы 10.1

№	Наименование показателя	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
75	Цены реализации перерабатывающими предприятиями СВИНИНЫ	1,45	1,5	1,54	4,56	10,3	11,73	14,88	19,4	27,3	43,4	49,1	40,1	46,95
76	Цены реализации перерабатывающими предприятиями МЯСА ПТИЦЫ	0	0	0	0	0	10,3	11,22	20,5	28,1	34,4	37,6	35,8	50
77	Потребительские цены в торговле на ГОВЯДИНУ	1,1	1,15	1,21	3,9	12,5	12,88	17,13	23,8	42,5	49,4	66,8	72,17	75,6
78	Потребительские цены в торговле на СВИНИНУ	1,12	1,22	1,4	5,08	14,6	14,87	28,64	26,3	42,4	55	79,6	76,41	80
79	Потребительские цены в торговле на КУРЫ	1,08	1,11	1,16	4,93	11,7	14,24	17,02	26,3	38,8	50,6	60,6	58,91	61,68
80	Потребительские цены в торговле на МОЛОКО ЦЕЛЬНОЕ	0,17	0,19	0,21	1,1	2,2	2,86	2,22	4,7	5,8	6,3	8,6	9,48	10,88
81	Доля в себестоимости продукции по предприятиям АПК (%) МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ			76,96		73,4	70,42	69,73	73,1	78	78	75,8	77	
82	Доля в себестоимости продукции по предприятиям АПК (%) СЫРЬЯ И МАТЕРИАЛОВ			69,23		61,1	58,93	57,1	62	70,3	68,6	67,3	66,5	
83	Доля в себестоимости продукции по предприятиям АПК (%) КОМПЛЕКТУЮЩИХ И ПОЛУФАБРИКАТОВ			0,35		1,2	0,83	0,66	1,1	0,8	1	1,1	2,9	
84	Доля в себестоимости продукции по предприятиям АПК (%) РАБОТ И УСЛУГ			2,35		2,6	2,28	2,15	2,1	2,1	2,1	1,5	1,6	
85	Доля в себестоимости продукции по предприятиям АПК (%) ТОПЛИВА И ЭНЕРГИИ			5,1		8,4	8,52	9,82	7,8	4,7	6,3	5,9	5,7	
86	Доля в себестоимости продукции по предприятиям АПК (%) ОПЛАТЫ ТРУДА			7,94		8,7	9,87	11,04	9,5	7	9	10,2	18,7	
87	Доля в себестоимости продукции по перерабатывающим (пищевым) предприятиям АПК (%) МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ		80,67	77,11	65,69	74,2	71,49	71,45	73,7	79,1	78,7	76,9	78	
88	Доля в себестоимости продукции по перерабатывающим (пищевым) предприятиям АПК (%) СЫРЬЯ И МАТЕРИАЛОВ			70,4		62,6	60,23	59,3	63,6	72,55	78,4	68,9	67,9	
89	Доля в себестоимости продукции по перерабатывающим (пищевым) предприятиям АПК (%) КОМПЛЕКТУЮЩИХ И ПОЛУФАБРИКАТОВ			0,22		1	0,72	0,45	0,9	0,5	0,5	1	3	
90	Доля в себестоимости продукции по перерабатывающим (пищевым) предприятиям АПК (%) РАБОТ И УСЛУГ			1,94		2,6	2,1	2,16	2	1,7	1,8	1,5	1,5	
91	Доля в себестоимости продукции по перерабатывающим (пищевым) предприятиям АПК (%) ТОПЛИВА И ЭНЕРГИИ			4,55		8,1	8,18	9,53	7,2	4,5	6,1	5,7	5,5	

На основе таблицы 10.1 были сконструированы следующие классификационные и описательные шкалы и градации (таблицы 10.2 - 10.3).

Таблица 10.2 – Классификационные шкалы и градации (фрагмент)

Код	Наименование класса
1	2
1	ВРП на душу нас. в тек. ценах тыс. руб., с 1998г.-руб. - ОЧЕНЬ НИЗКИЙ
2	ВРП на душу нас. в тек. ценах тыс. руб., с 1998г.-руб. – НИЗКИЙ
3	ВРП на душу нас. в тек. ценах тыс. руб., с 1998г.-руб. – СРЕДНИЙ
4	ВРП на душу нас. в тек. ценах тыс.руб., с 1998г.-руб. – ВЫСОКИЙ
5	ВРП на душу нас. в тек. ценах тыс. руб., с 1998г.-руб. - ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ
<b>Продолжение табл. 2</b>	
1	2
6	ВРП на душу нас. тыс. руб., с 1998г.-руб. - ОЧЕНЬ НИЗКИЙ
7	ВРП на душу нас. тыс. руб., с 1998г.-руб. - НИЗКИЙ
8	ВРП на душу нас. тыс. руб., с 1998г.-руб. - СРЕДНИЙ
9	ВРП на душу нас. тыс. руб., с 1998г.-руб. - ВЫСОКИЙ
10	ВРП на душу нас. тыс. руб., с 1998г.-руб. - ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ
11	% ВРП, приходящийся на сферу обслуж. (рын. и нерын.) - ОЧЕНЬ НИЗКИЙ
12	% ВРП, приходящийся на сферу обслуж. (рын. и нерын.) – НИЗКИЙ
13	% ВРП, приходящийся на сферу обслуж. (рын. и нерын.) – СРЕДНИЙ
14	% ВРП, приходящийся на сферу обслуж. (рын. и нерын.) – ВЫСОКИЙ
15	% ВРП, приходящийся на сферу обслуж. (рын. и нерын.) - ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ
16	Доля доходов 20 % населения с наивысшими доходами - ОЧЕНЬ НИЗКАЯ
17	Доля доходов 20 % населения с наивысшими доходами – НИЗКАЯ
18	Доля доходов 20 % населения с наивысшими доходами – СРЕДНЯЯ
19	Доля доходов 20 % населения с наивысшими доходами – ВЫСОКАЯ



20	Доля доходов 20 % населения с наивысшими доходами - ОЧЕНЬ ВЫСОКАЯ
21	Уровень инфляции (потребительских цен) (%) - ОЧЕНЬ НИЗКИЙ
22	Уровень инфляции (потребительских цен) (%) – НИЗКИЙ
23	Уровень инфляции (потребительских цен) (%) – СРЕДНИЙ
24	Уровень инфляции (потребительских цен) (%) – ВЫСОКИЙ
25	Уровень инфляции (потребительских цен) (%) - ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ
26	Уровень безработицы в % от экон. активного населения - ОЧЕНЬ НИЗКИЙ
27	Уровень безработицы в % от экон. активного населения – НИЗКИЙ
28	Уровень безработицы в % от экон. активного населения – СРЕДНИЙ
29	Уровень безработицы в % от экон. активного населения – ВЫСОКИЙ
30	Уровень безработицы в % от экон. активного населения-ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ
31	ВРП млрд руб. с 1998г. млн руб. - ОЧЕНЬ НИЗКИЙ
32	ВРП млрд руб. с 1998г. млн руб.- НИЗКИЙ
33	ВРП млрд руб. с 1998г. млн руб.- СРЕДНИЙ
34	ВРП млрд руб. с 1998г. млн руб.- ВЫСОКИЙ
35	ВРП млрд руб. с 1998г. млн руб. - ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ
36	Автомобильные дороги с твердым покрытием, всего км - ОЧЕНЬ МАЛО
37	Автомобильные дороги с твердым покрытием, всего км - МАЛО
38	Автомобильные дороги с твердым покрытием, всего км – СРЕДНЕ
39	Автомобильные дороги с твердым покрытием, всего км – МНОГО
40	Автомобильные дороги с твердым покрытием, всего км - ОЧЕНЬ МНОГО
41	Железнодорожные пути общего пользования, всего км - ОЧЕНЬ МАЛО
42	Железнодорожные пути общего пользования, всего км – МАЛО
43	Железнодорожные пути общего пользования, всего км – СРЕДНЕ
44	Железнодорожные пути общего пользования, всего км – МНОГО
45	Железнодорожные пути общего пользования, всего км - ОЧЕНЬ МНОГО
46	Коэфф. концентрации доходов - индекс Джини - ОЧЕНЬ НИЗКИЙ
47	Коэфф. концентрации доходов - индекс Джини - ОЧЕНЬ НИЗКИЙ
48	Коэфф. концентрации доходов - индекс Джини – НИЗКИЙ
49	Коэфф. концентрации доходов - индекс Джини – ВЫСОКИЙ
50	Коэфф. концентрации доходов - индекс Джини - ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ
51	Доля жилищного фонда, нах. в частной собств.(%) - ОЧЕНЬ НИЗКАЯ
52	Доля жилищного фонда, нах. в частной собств.(%) - НИЗКАЯ
53	Доля жилищного фонда, нах. в частной собств.(%) - СРЕДНЯЯ
54	Доля жилищного фонда, нах. в частной собств.(%) - ВЫСОКАЯ
55	Доля жилищного фонда, нах. в частной собств.(%) - ОЧЕНЬ ВЫСОКАЯ
56	Доля населения с доходами ниже прож. минимума (%) - ОЧЕНЬ НИЗКАЯ
57	Доля населения с доходами ниже прож. минимума (%) - НИЗКАЯ
58	Доля населения с доходами ниже прож. минимума (%) - СРЕДНЯЯ
59	Доля населения с доходами ниже прож. минимума (%) - ВЫСОКАЯ
60	Доля населения с доходами ниже прож. минимума (%) - ОЧЕНЬ ВЫСОКАЯ
61	Токсикоманов, наркоманов, алкоголиков на 100000 жит. -ОЧЕНЬ МАЛО
62	Токсикоманов, наркоманов, алкоголиков на 100000 жит. - МАЛО
63	Токсикоманов, наркоманов, алкоголиков на 100000 жит. - СРЕДНЕ
64	Токсикоманов, наркоманов, алкоголиков на 100000 жит. - МНОГО
65	Токсикоманов, наркоманов, алкоголиков на 100000 жит. - ОЧЕНЬ МНОГО
66	Вредных веществ выбр. в атмосферу от стац. источн. - ОЧЕНЬ МАЛО
67	Вредных веществ выбр. в атмосферу от стац. источн. - МАЛО
68	Вредных веществ выбр. в атмосферу от стац. источн. - СРЕДНЕ
69	Вредных веществ выбр. в атмосферу от стац. источн. - МНОГО
70	Вредных веществ выбр. в атмосферу от стац. источн. - ОЧЕНЬ МНОГО
71	Оксиды углерода выбр. в атмосферу от стац. источн. - ОЧЕНЬ МАЛО
72	Оксиды углерода выбр. в атмосферу от стац. источн. - МАЛО
73	Оксиды углерода выбр. в атмосферу от стац. источн. - СРЕДНЕ
74	Оксиды углерода выбр. в атмосферу от стац. источн. - МНОГО



75	Окиси углерода выбр. в атмосферу от стац. источн. - ОЧЕНЬ МНОГО
76	Площадь закрепленных охотнических угодий - ОЧЕНЬ МАЛО
77	Площадь закрепленных охотнических угодий - МАЛО
78	Площадь закрепленных охотнических угодий - СРЕДНЕ
79	Площадь закрепленных охотнических угодий - МНОГО
80	Площадь закрепленных охотнических угодий - ОЧЕНЬ МНОГО
81	Площадь заповедников, национальных парков - ОЧЕНЬ МАЛО
82	Площадь заповедников, национальных парков- МАЛО
83	Площадь заповедников, национальных парков - СРЕДНЕ
84	Площадь заповедников, национальных парков - МНОГО
85	Площадь заповедников, национальных парков - ОЧЕНЬ МНОГО
86	1991
87	1992
88	1993
89	1994
90	1995
91	1996
92	1997
93	1998

Таблица 10.3 - Описательные шкалы и коды градаций (фрагмент)

Код	Наименование описательной шкалы	Коды градаций				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
1	Инвестиции в основной капитал - всего, млн руб.	1	2	3	4	5
2	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - всего, млн руб.	6	7	8	9	10
3	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, млн руб.	11	12	13	14	15
4	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО, млн руб.	16	17	18	19	20
5	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО, млн руб.	21	22	23	24	25
6	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - ТРАНСПОРТ, млн руб.	26	27	28	29	30
7	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - СВЯЗЬ, млн руб.	31	32	33	34	35
8	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - СТРОИТЕЛЬСТВО, млн руб.	36	37	38	39	40
9	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - ТОРГОВЛЯ И ОБЩЕСТВЕННОЕ ПИТАНИЕ, млн руб.	41	42	43	44	45
10	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - ПРОЧИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОТРАСЛИ, млн руб.	46	47	48	49	50
11	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОЕ ХОЗЯЙСТВО, млн руб.	51	52	53	54	55
12	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - ЗДРАВООХРАНЕНИЕ, ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И СОЦИАЛЬНОЕ ОБЕСП	56	57	58	59	60
13	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - ОБРАЗОВАНИЕ, млн руб.	61	62	63	64	65
14	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - КУЛЬТУРА И ИСКУССТВО, млн руб.	66	67	68	69	70
15	Инв. в осн. кап. по крупн. и средн. предпр. - НАУКА И НАУЧНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, млн руб.	71	72	73	74	75
16	Инв. в осн. Кап. по крупн. и средн. предпр. - ПРОЧИЕ НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОТРАСЛИ, млн руб.	76	77	78	79	80
17	Инвестиции в основной капитал АПК по крупным и средним предприятиям - всего, млн руб.	81	82	83	84	85
18	Выращено мяса (реализация) по всем категориям хозяйств	86	87	88	89	90
19	Получено молока по всем категориям хозяйств	91	92	93	94	95
20	Получено яиц по всем категориям хозяйств	96	97	98	99	100
21	Получено шерсти по всем категориям хозяйств	101	102	103	104	105
22	Выращено мяса (реализация) по сельхозпредприятиям	106	107	108	109	110
23	Получено молока по сельхозпредприятиям	111	112	113	114	115
24	Получено яиц по сельхозпредприятиям	116	117	118	119	120
25	Получено шерсти по сельхозпредприятиям	121	122	123	124	125
26	Объем производства продукции всего по АПК	126	127	128	129	130
27	Объем производства продукции по отраслям, обеспечивающим АПК средствами производства	131	132	133	134	135
28	Объем производства продукции по отраслям АПК, перерабатывающим сельскохозяйственное сырье	136	137	138	139	140
29	Объем производства продукции по пищевым предприятиям АПК	141	142	143	144	145

30	Объем производства продукции по мукомольно-крупяным и комбикормовым предприятиям АПК	146	147	148	149	150
31	Объем производства продукции в % прошлому году, всего по АПК	151	152	153	154	155
32	Объем производства продукции в % к прошлому году, по отраслям, обеспечивающим АПК средствами производства	156	157	158	159	160
33	Объем производства продукции в % к прошлому году, по отраслям АПК, перерабатывающим сельскохозяйственное сырье	161	162	163	164	165
34	Объем производства продукции в % к прошлому году, по пищевым предприятиям АПК	166	167	168	169	170
35	Объем производства продукции в % к прошлому году, по мукомольно-крупяным и комбикормовым предприятиям АПК	171	172	173	174	175
36	Валовой сбор зерновых и зернобобовых	176	177	178	179	180
37	Валовой сбор пшеницы	181	182	183	184	185
38	Валовой сбор ячменя	186	187	188	189	190
39	Валовой сбор кукурузы	191	192	193	194	195
40	Валовой сбор риса	196	197	198	199	200
41	Валовой сбор сахарной свеклы	201	202	203	204	205
42	Валовой сбор подсолнечника	206	207	208	209	210
43	Валовой сбор сои	211	212	213	214	215
44	Производство продукции сельскими хозяйствами всех категорий	216	217	218	219	220
45	Производство продукции сельскохозяйственными предприятиями	221	222	223	224	225
46	Производство продукции хозяйствами населения	226	227	228	229	230
47	Производство продукции крестьянскими (фермерскими) хозяйствами	231	232	233	234	235
48	Поголовье крупного рогатого скота (КРС)	236	237	238	239	240
49	Поголовье коров	241	242	243	244	245
50	Поголовье свиней	246	247	248	249	250
51	Поголовье овец	251	252	253	254	255
52	Поголовье птицы	256	257	258	259	260
53	Средний удой молока от одной коровы	261	262	263	264	265
54	Средний настриг шерсти от одной овцы	266	267	268	269	270
55	Средняя яйценоскость одной курицы-несушки	271	272	273	274	275
56	Расход кормов на одну голову условного скота	276	277	278	279	280
57	Расход концентрированных кормов на 1 голову условного скота	281	282	283	284	285
58	Число предприятий, входящих в АПК, промышленность – всего	286	287	288	289	290
59	Число предприятий, входящих в АПК, крупные и средние предприятия	291	292	293	294	295
60	Число предприятий, входящих в АПК, состоящие на балансе сельскохозяйственных и других непромышленных предприятий	296	297	298	299	300
61	Число предприятий, входящих в АПК, малые предприятия	301	302	303	304	305
62	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску МЯСА (%)	306	307	308	309	310
63	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску МАСЛА ЖИВОТНОГО (%)	311	312	313	314	315
64	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску ЦЕЛЬНО - МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ (%)	316	317	318	319	320
65	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску САХАРА-ПЕСКА (%)	321	322	323	324	325
66	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску КОНСЕРВ ПЛОДООВОЩНЫХ (%)	326	327	328	329	330
67	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску ВИНА ВИНОГРАДНОГО (%)	331	332	333	334	335
68	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску МУКИ (%)	336	337	338	339	340
69	Использование среднегодовой мощности предприятий АПК по выпуску КОМБИКОРМОВ (%)	341	342	343	344	345
70	Цены реализации сельхозпредприятиями КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА	346	347	348	349	350
71	Цены реализации сельхозпредприятиями СВИНЕЙ	351	352	353	354	355
72	Цены реализации сельхозпредприятиями ПТИЦЫ	356	357	358	359	360
73	Цены реализации сельхозпредприятиями МОЛОКА И МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ	361	362	363	364	365
74	Цены реализации перерабатывающими предприятиями ГОВЯДИНЫ	366	367	368	369	370
75	Цены реализации перерабатывающими предприятиями СВИНИНЫ	371	372	373	374	375
76	Цены реализации перерабатывающими предприятиями МЯСА ПТИЦЫ	376	377	378	379	380
77	Потребительские цены в торговле на ГОВЯДИНУ	381	382	383	384	385
78	Потребительские цены в торговле на СВИНИНУ	386	387	388	389	390
79	Потребительские цены в торговле на КУРЫ	391	392	393	394	395
80	Потребительские цены в торговле на МОЛОКО ЦЕЛЬНОЕ	396	397	398	399	400
81	Доля в себестоимости продукции по предприятиям АПК (%) МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ	401	402	403	404	405

82	Доля в себестоимости продукции по предприятиям АПК (%) СЫРЬЯ И МАТЕРИАЛОВ	406	407	408	409	410
83	Доля в себестоимости продукции по предприятиям АПК (%) КОМПЛЕКТУЮЩИХ И ПОЛУФАБРИКАТОВ	411	412	413	414	415
84	Доля в себестоимости продукции по предприятиям АПК (%) РАБОТ И УСЛУГ	416	417	418	419	420
85	Доля в себестоимости продукции по предприятиям АПК (%) ТОПЛИВА И ЭНЕРГИИ	421	422	423	424	425
86	Доля в себестоимости продукции по предприятиям АПК (%) ОПЛАТЫ ТРУДА	426	427	428	429	430
87	Доля в себестоимости продукции по перерабатывающим (пищевым) предприятиям АПК (%) МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ	431	432	433	434	435
88	Доля в себестоимости продукции по перерабатывающим (пищевым) предприятиям АПК (%) СЫРЬЯ И МАТЕРИАЛОВ	436	437	438	439	440
89	Доля в себестоимости продукции по перерабатывающим (пищевым) предприятиям АПК (%) КОМПЛЕКТУЮЩИХ И ПОЛУФАБРИКАТОВ	441	442	443	444	445
90	Доля в себестоимости продукции по перерабатывающим (пищевым) предприятиям АПК (%) РАБОТ И УСЛУГ	446	447	448	449	450
91	Доля в себестоимости продукции по перерабатывающим (пищевым) предприятиям АПК (%) ТОПЛИВА И ЭНЕРГИИ	451	452	453	454	455
92	Доля в себестоимости продукции по перерабатывающим (пищевым) предприятиям АПК (%) ОПЛАТЫ ТРУДА	456	457	458	459	460
93	Площадь ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ	461	462	463	464	465
94	Урожай ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ	466	467	468	469	470
95	Площадь ПШЕНИЦЫ	471	472	473	474	475
96	Урожай ПШЕНИЦЫ	476	477	478	479	480
97	Площадь ЯЧМЕНЯ	481	482	483	484	485
98	Урожай ЯЧМЕНЯ	486	487	488	489	490
99	Площадь КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО	491	492	493	494	495
100	Урожай КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО	496	497	498	499	500
101	Площадь РИСА	501	502	503	504	505
102	Урожай РИСА	506	507	508	509	510
103	Площадь САХАРНОЙ СВЕКЛЫ	511	512	513	514	515
104	Урожай САХАРНОЙ СВЕКЛЫ	516	517	518	519	520
105	Площадь ПОДСОЛНЕЧНИКА	521	522	523	524	525
106	Урожай ПОДСОЛНЕЧНИКА	526	527	528	529	530
107	Площадь СОИ	531	532	533	534	535
108	Урожай СОИ	536	537	538	539	540
109	ВРП на душу нас. в тек. ценах тыс. руб. с 1998г.	541	542	543	544	545
110	ВРП на душу нас. тыс. руб., с 1998г. -руб.	546	547	548	549	550
111	% ВРП, приходящийся на сферу обслужив.(рын. и нерын.	551	552	553	554	555
112	Доля доходов 20% населения с наивысшими доходами	556	557	558	559	560
113	Уровень инфляции (потребительских цен) (%)	561	562	563	564	565
114	Уровень безработицы в % от экон. активного населения	566	567	568	569	570
115	ВРП млрд.руб. с 1998г. млн руб.	571	572	573	574	575
116	Автодороги с твердым покрытием, всего км	576	577	578	579	580
117	Железнодорожные пути общего пользования, всего	581	582	583	584	585
118	Коэфф. концентрации доходов - индекс Джини	586	587	588	589	590
119	Доля жилищного фонда, нах. в частной собств.(%)	591	592	593	594	595
120	Доля населения с доходами ниже прож. минимума (%)	596	597	598	599	600
121	Токсикоманов, наркоманов, алкоголиков на 100000 ж	601	602	603	604	605
122	Вредных веществ выбр. в атмосферу от стац. источн.	606	607	608	609	610
123	Окиси углерода выбр. В атмосферу от стац. источн.	611	612	613	614	615
124	Площадь закрепленных охотнических угодий	616	617	618	619	620
125	Площадь заповедников, национальных парков	621	622	623	624	625
126	Годы, за которые есть статистические данные	626	627	628	629	630
		631	632	633	634	635
		636	637	638		

### **Принципиальная многоуровневая модель управления качеством жизни на уровне региона**

Классификационные и описательные шкалы и градации сконструированы в соответствии с методологией, предложенной в работах [5, 6], с целью создания многоуровневой (иерархической) модели предметной

области и соответствующей многослойной нейронной сети, принципиальная схема которой представлена на рисунке 10.1.

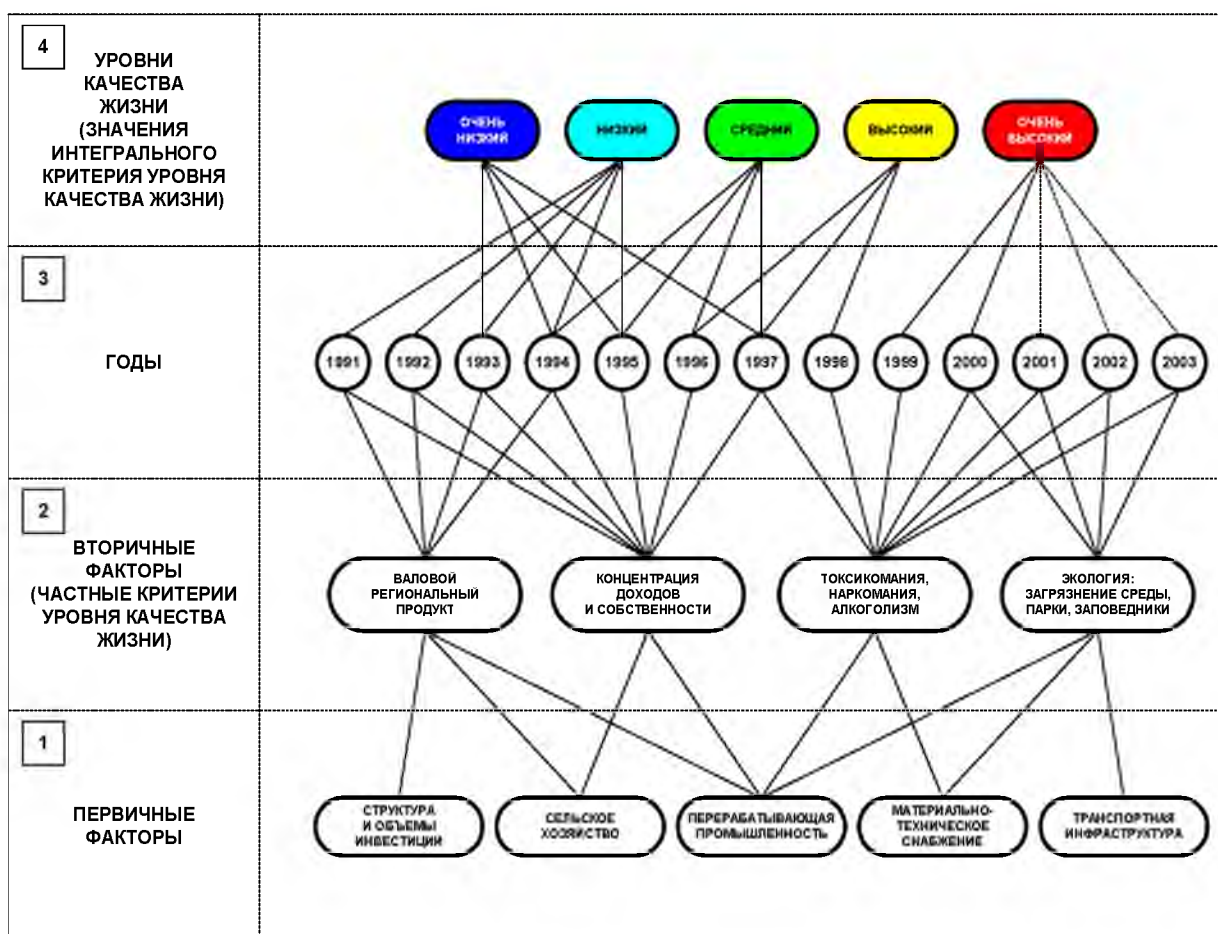


Рисунок 10.1 - Принципиальная схема многоуровневой (иерархической) модели предметной области и соответствующей многослойной нейронной сети (показаны только связи между смежными уровнями)

Система формализации предметной области создавалась в универсальной когнитивной аналитической системе "Эйдос", которая представляет собой инструментарий системно-когнитивного анализа [1].

Отметим, что связи между объектами различных уровней выявляются поэтапно расчетным путем и с использованием экспертных оценок.

**Этап 1-й:** связи 1-го и 2-го уровней устанавливаются **расчетным путем** в результате синтеза "Модели-А" непосредственно на основе фактической (эмпирической) статистической информации;

**Этап 2-й:** связи 2-го и 4-го уровней образуются с помощью **экспертных оценок**, и на основе этого осуществляются пересинтез модели-А и формирование модели-Б;

**Этап 3-й:** связи 2-го и 3-го, а также 3-го и 4-го уровней, формируются с использованием модели-Б **расчетным путем**. При этом выявляются значения интегрального критерия уровня качества жизни для каждого года, а затем с использованием этой информации проводятся пересинтез модели-Б и формирование модели-В, отражающей все уровни, представленные на рисунке 10.1.

Рассмотрим по шагам работы, выполняемые на каждом этапе.

### **Этап 1-й:- выявление связей 1-го и 2-го уровней, синтез "Модели-А "**

**На 1-м шаге.** В Excel был подготовлен файл с исходными данными, представленный в таблице 10.1. В строках с 1-й по N-ю этого файла содержится информация о классификационных шкалах и градациях, а в строках с N+1-й по последнюю – об описательных шкалах и градациях (в данном случае N = 17). Столбец 1 этого файла должен быть типа: "Текстовый", "Числовой", "Дата" и содержит информацию о наименованиях шкал (в данном случае он текстовый). Для классов эти наименования должны быть не более 65 символов, а для признаков – не более 195. Столбцы со 2-го по последний содержат информацию об объектах обучающей выборки. Тип данных в этих столбцах – только числовой. Этот файл является транспонированным файлом стандарта профессора А.Н. Лебедева. Затем этот файл был записан из Excel с использованием его стандартных средств в файл типа DBF 4 (dBASE IV) (\*.dbf) с именем Inp12.dbf в текущую директорию системы "Эйдос".

**На 2-м шаге.** В 5-м режиме 1-й подсистемы системы "Эйдос" (рисунок 10.2) был запущен программный интерфейс, обеспечивающий автома-

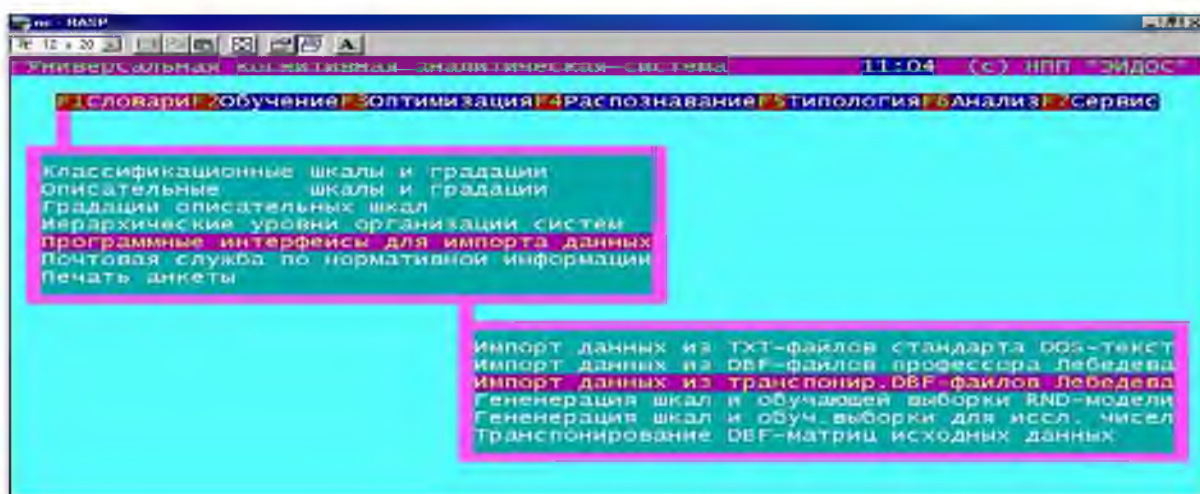


Рисунок 10.2 - Выход на режим импорта данных из DBF-файла в системе "Эйдос"

тический импорт данных из DBF-файла специального формата, сформированного на предыдущем этапе, в систему "Эйдос".

При этом система "Эйдос" автоматически находит минимальное и максимальное значения в каждой строке классов или признаков и формирует заданное в диалоге количество **ОДИНАКОВЫХ** интервалов (строки без чисел игнорируются). С использованием этой информации автоматически генерируются классификационные и описательные шкалы и градации, а также обучающая выборка. В обучающей выборке каждому столбцу DBF-файла исходных данных, начиная со второго, соответствует одна физическая анкета, содержащая столько же логических анкет, сколько уникальных классов в диапазоне строк классов, и коды признаков, соответствующие попаданием числовых значений в интервалы.



### В результате:

– создан справочник классов – классификационных шкал и градаций (см. таблице 10.2) с кодами градаций от 1 до 85. Шкалы в этом справочнике представляют собой числовые показатели – частные критерии уровня качества жизни, по которым удалось получить реальные данные, а градации – интервальные значения этих частных критериев;

– создан справочник факторов – описательных шкал и градаций (см. таблица 10.3) с кодами градаций от 1 до 540. Шкалы в этом справочнике являются числовыми показателями, характеризующими АПК Краснодарского края за период с 1991 по 2003 годы, а градации – интервальные значения этих факторов;

– сформирована обучающая выборка, в которой каждый год характеризуется принадлежностью к определенным классам и является примером того, что фактически имевшие место в этом году значения факторов обусловили соответствующие конкретные показатели уровня качества жизни.

**На 3-м шаге.** В 3-м режиме 2-й подсистемы системы "Эйдос" (рисунок 10.3) осуществлен синтез семантической информационной модел А.

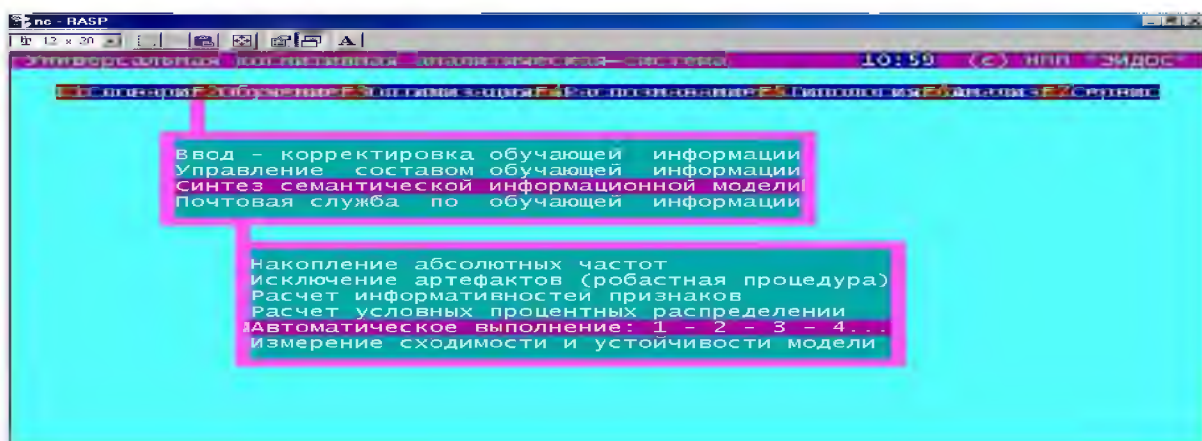


Рисунок 10.3 – Выход на режим синтеза семантической информационной модели в системе "Эйдос"

Она отражает причинно-следственные (каузальные) взаимосвязи между первичными факторами и частными критериями уровня качества жизни, отраженные на рисунке 10.1 в слоях 1 и 2.

Эта модель необходима для того, чтобы на последующих этапах на ее основе создать многоуровневую семантическую информационную модель детерминации качества жизни населения на уровне региона.

### *Этап 2-й: выявление связей 2-го и 4-го уровней, синтез "Модели-Б"*

**На 4-м шаге:** в справочник классификационных шкал и градаций – классов (см. таблица 10.2) *вручную* добавлена шкала "Годы", градациями которой являются

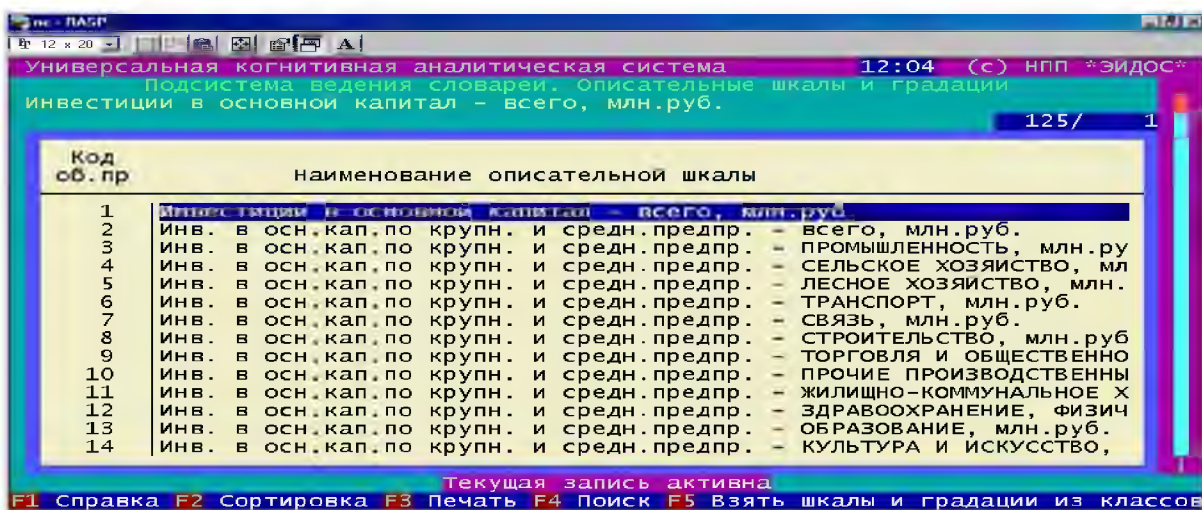


Рисунок 10.4 – Добавление описательных шкал и градаций из классификационных в системе "Эйдос" (F5)

- годы с 1991 по 2003 (коды с 86 по 98), а также шкала  
 - "Уровень качества жизни" с пятью градациями, соответствующими различным значениям интегрального критерия уровня качества жизни (коды с 99 по 103);

– в справочники описательных шкал и градаций *автоматически* во 2-м режиме 1-й подсистемы системы "Эйдос" (рис. 4) добавлены шкалы с кодами от 109 до 125 и градации с кодами от 541 до 625, соответствующие частным критериям уровня качества жизни.

Данный режим каждую добавленную градацию *автоматически* связывает с соответствующим ей классом, что необходимо для синтеза в последующей многоуровневой модели.

**На 5-м шаге** был сконструирован интегральный критерий уровня качества жизни на основе частных критериев, добавленных в описательные шкалы и градации на предыдущем этапе. Рассмотрим эти частные критерии (таблица 10.4).

Таблица 10.4 - Интегральный критерий уровня качества жизни как функция от частных критериев (экспертные оценки)

Код	Наименование описательной шкалы (частные критерии уровня качества жизни)	Коды градаций частных критериев				
		очень низкое	низкое	среднее	высокое	очень высокое
109	ВРП на душу нас.в тек.ценах тыс.руб.,с 1998г.	541	542	543	544	545
110	ВРП на душу нас. тыс. руб.,с 1998г.-руб.	546	547	548	549	550
111	% ВРП, приходящийся на сферу обслужив.(рын. и нерын.	551	552	553	554	555
112	Доля доходов 20 % населения с наивысшими доходами	556	557	558	559	560
113	Уровень инфляции (потребительских цен) (%)	561	562	563	564	565
114	Уровень безработицы в % от экон. активного населения	566	567	568	569	570
115	ВРП млрд.руб. с 1998г. млн руб.	571	572	573	574	575
116	Автодороги с твердым покрытием, всего км	576	577	578	579	580
117	Железнодорожные пути общего пользования, всего	581	582	583	584	585



118	Коэфф. концентрации доходов - индекс Джини	586	587	588	589	590
119	Доля жилищного фонда, нах. в частной собств.(%)	591	592	593	594	595
120	Доля населения с доходами ниже прож. минимума (%)	596	597	598	599	600
121	Токсикоманов, наркоманов, алкоголиков на 100000 ж	601	602	603	604	605
122	Вредных веществ выбр. в атмосферу от стац. источн.	606	607	608	609	610
123	Окиси углерода выбр. в атмосферу от стац. источн.	611	612	613	614	615
124	Площадь закрепленных охотнических угодий	616	617	618	619	620
125	Площадь заповедников, национальных парков	621	622	623	624	625

Условные цветовые обозначения в таблице 10.4 (градации частных критериев, обозначающие различные интегральные критерии) идентичны использованным на рисунке 10.1 и расшифрованы в таблице 10.5.

Таблица 10.5 – Расшифровка условных цветовых обозначений

Условное цветовое обозначение градации интегрального критерия	Коды градаций частных критериев
<b>Качество жизни ОЧЕНЬ НИЗКОЕ</b>	541, 546, 551, 560, 565, 570, 571, 576, 581, 590, 591, 600, 605, 610, 615, 616, 621
<b>Качество жизни НИЗКОЕ</b>	542, 547, 552, 559, 564, 569, 572, 577, 582, 589, 592, 599, 604, 609, 614, 617, 622
<b>Качество жизни СРЕДНЕЕ</b>	543, 548, 553, 558, 563, 568, 573, 578, 583, 588, 593, 598, 603, 608, 613, 618, 623
<b>Качество жизни ВЫСОКОЕ</b>	544, 549, 554, 557, 562, 567, 574, 579, 584, 587, 594, 597, 602, 607, 612, 619, 624
<b>Качество жизни ОЧЕНЬ ВЫСОКОЕ</b>	545, 550, 555, 556, 561, 566, 575, 580, 585, 586, 595, 596, 601, 606, 611, 620, 625

Таблица 10.4 получена путем обобщения экспертных оценок влияния значений (градаций) частных критериев на уровень качества жизни (голосованием). В экспертной группе работали 4 профессора: 1 доктор технических наук и 3 доктора экономических наук.

Из таблиц 10.4-10.5 вытекают следующие выражения для интервальных значений интегрального критерия  $I_{99}, I_{100}, I_{101}, I_{102}$  (1 – 5):

$$I_{99} = H_{541} + H_{546} + H_{551} + H_{560} + H_{565} + H_{570} + H_{571} + H_{576} + H_{581} + H_{590} + H_{591} + H_{600} + H_{605} + H_{610} + H_{615} + H_{616} + H_{621} \quad (1)$$

$$I_{100} = H_{542} + H_{547} + H_{552} + H_{559} + H_{564} + H_{569} + H_{572} + H_{577} + H_{582} + H_{589} + H_{592} + H_{599} + H_{604} + H_{609} + H_{614} + H_{617} + H_{622} \quad (2)$$

$$I_{101} = H_{543} + H_{548} + H_{553} + H_{558} + H_{563} + H_{568} + H_{573} + H_{578} + H_{583} + H_{588} + H_{593} + H_{598} + H_{603} + H_{608} + H_{613} + H_{618} + H_{623} \quad (3)$$

$$I_{102} = H_{544} + H_{549} + H_{554} + H_{557} + H_{562} + H_{567} + H_{574} + H_{579} + H_{584} + H_{587} + H_{594} + H_{597} + H_{602} + H_{607} + H_{612} + H_{619} + H_{624} \quad (4)$$

$$I_{103} = H_{545} + H_{550} + H_{555} + H_{556} + H_{561} + H_{566} + H_{575} + H_{580} + H_{585} + H_{586} + H_{595} + H_{596} + H_{601} + H_{606} + H_{611} + H_{620} + H_{625} \quad (5)$$

Будем считать, что все частные критерии  $H_j$  имеют одинаковый вес, равный 1. В последующем эти веса частных критериев будут рассчитаны в соответствии с СИМ АСК-анализа [1].

**На 6-м шаге** была скорректирована обучающая выборка:

- в анкеты обучающей выборки **в область классов** были **вручную** добавлены коды, соответствующие годам с 1991 по 2003;
- добавлены 5 анкет обучающей выборки, соответствующие различным интервальным значениям (т.е. градациям) интегрального критерия уровня качества жизни, при этом в каждую анкету **вручную** введены соответствующие коды частных критериев из таблицы 10.5;
- в каждую анкету, характеризующую уровень качества жизни, **автоматически** добавлены коды первичных факторов, **положительно связанных с введенными частными критериями** уровня качества жизни, путем нажатия клавиши F9 в 1-м режиме 2-й подсистемы системы "Эйдос", когда курсор находится в правом окне (рисунок 10.5).

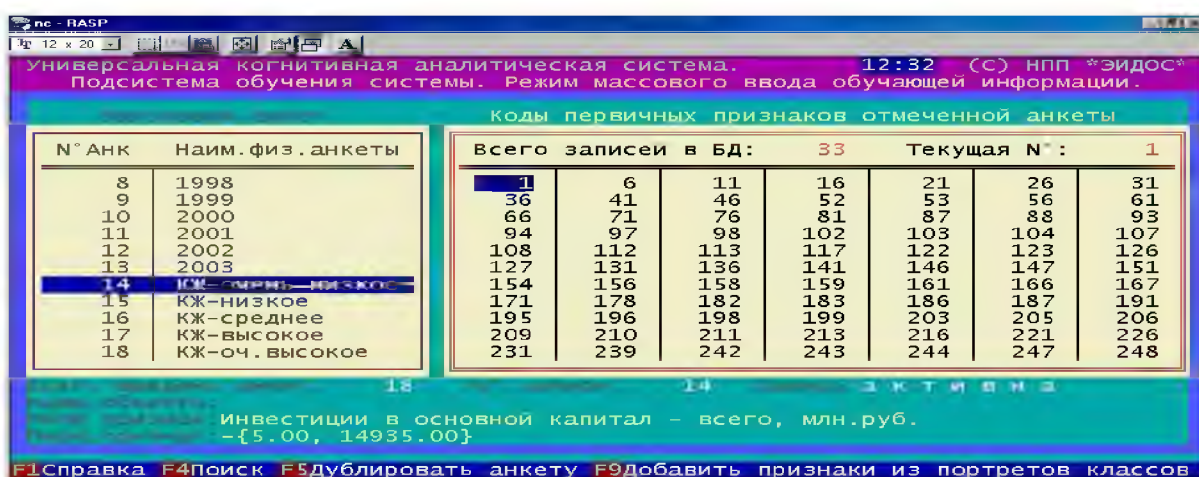


Рисунок 10.5 - Добавление кодов признаков, положительно связанных с введенными частными критериями уровня качества жизни в "Эйдос"-е (F9)

Наиболее интеллектуальным является алгоритм добавления кодов первичных факторов, связанных с частными критериями уровня качества жизни (рисунок 10. 6).

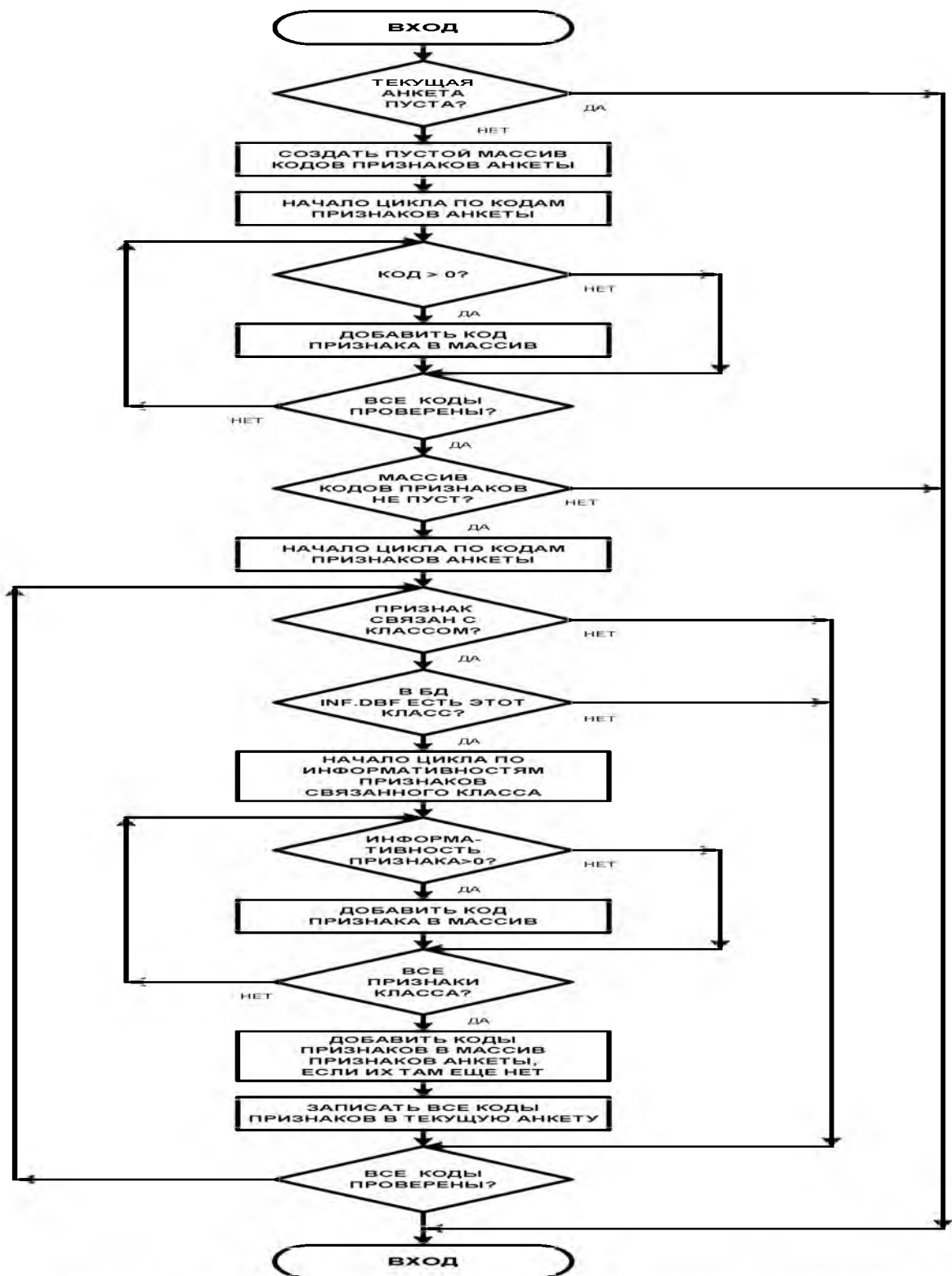


Рисунок 10.6 – Алгоритм добавления кодов признаков, положительно связанных с введенными частными критериями уровня качества жизни

Суть этого алгоритма состоит в том, что в анкету добавляются все коды признаков, которые положительно каузально влияют на осуществление введенных в анкету значений частных критериев уровня качества жизни. Это значит, что разработанные на основе *экспертных оценок* и приведенные в таблице 5 выражения для значений интегрального критерия через частные

критерии дополняются первичными факторами, для которых на основе **фактических данных** установлено их положительное влияние на осуществление этих частных критериев.

**На 7-м шаге.** В 3-м режиме 2-й подсистемы системы "Эйдос" (см. рисунок 10.3) осуществлен синтез многоуровневой семантической информации-онной модели-Б, отражающей прямые и опосредованные причинно-следственные взаимосвязи между объектами различных уровней, классифицированные в таблице 10.5, кроме связей "Годы" – "Уровень качества жизни" (выделена серым фоном).

Здесь отражены каузальные взаимосвязи различной степени опосредованности между объектами, принадлежащими различным уровням иерархической модели:

– **0 степень опосредованности** (непосредственные связи): первичными факторами и частными критериями уровня качества жизни, частными критериями и годами, годами и интервальными значениями интегрального критерия уровня качества жизни;

– **1-я степень опосредованности:** частными критериями уровня качества жизни и интервальными значениями интегрального критерия уровня качества жизни, первичными факторами и годами;

– **2-я степень опосредованности:** первичными факторами и интервальными значениями интегрального критерия уровня качества жизни.

Таблица 10.5 - Виды каузальных связей между объектами различных уровней иерархической модели и источники информации для выявления этих связей

	Уровень качества жизни	Годы	Частные критерии уровня качества жизни
Годы	Связь 0 степени опосредованности (режимы идентификации и кластерного анализа МСИМ)	---	---
Частные критерии уровня качества жизни	Связь 1-й степени опосредованности (экспертные оценки)	Связь 0 степени опосредованности (статистические данные)	---
Первичные факторы	Связь 2-й степени опосредованности (статистические данные и экспертные оценки)	Связь 1-й степени опосредованности (статистические данные)	Связь 0 степени опосредованности (статистические данные)

### **Этап 3-й: связи 2-го и 3-го, 3-го и 4-го уровней, синтез "Модели-В "**

**На 8-м шаге,** Связь "Годы – Уровни качества жизни (интегральный критерий)" устанавливается в модели-Б не путем экспертных оценок, а в результате кластерно-конструктивного анализа в соответствующем режиме 5-й подсистемы системы "Эйдос" (рисунок 10.7). Результат работы этого режима отображен в графической форме семантической сети классов (рисунок 10.8), на которой показаны только отношения сходства.

**На 9-м шаге.** Информация о результатах применения интегрального критерия качества жизни к годам, полученная на основе сформированной модели предыдущего уровня *расчетным* путем, теперь *вручную* вносится в систему в качестве исходной для формирования модели более высокого уровня.

Специально для этого сначала во 2-м режиме 1-й подсистемы *вручную* вводятся дополнительная описательная шкала и градации, соответствующие годам, за которые имеются статистические данные. При этом формируется описательная шкала с кодом 126 (см. таблица 10.3) и с кодами градаций от 626 до 638.

Затем на основе семантической сети, представленной на рисунке 10.7, формируется таблица 10.6.

Таблица 10.6 - Кодирование результатов применения интегрального критерия уровня качества жизни к годам

№	Градация интегрального критерия уровня качества жизни		Год	
	Наименование	Код	Наименование	Код
1	Очень низкий	99	1993	628
			1994	629
			1995	630
			1997	632
2	Низкий	100	1991	626
			1992	627
			1993	628
			1995	630
3	Средний	101	1994	629
			1995	630
			1996	631
			1997	632
4	Высокий	102	1996	631
			1997	632
			1998	633
5	Очень высокий	103	1999	634
			2000	635

С использованием данных таблицы 10.6 в 1-м режиме 2-й подсистемы в обучающей выборке во все анкеты *в окно признаков* вводится информация о принадлежности их к годам:

– в анкеты с номерами с 1 по 13, соответствующие годам, вносится информация *об одном годе*, за который в данной анкете содержатся данные;

– в анкеты с номерами с 14 по 18, соответствующие градациям (различным интервальным значениям) интегрального критерия уровня качества жизни, добавляется информация *о всех годах*, по которым получена эта оценка уровня качества жизни.

На 10-м шаге. В 4-м режиме 2-й подсистемы осуществляется пересинтез модели-Б, в результате чего формируется многоуровневая семантическая информационная модель-В. И эту модель теперь необходимо исследовать заново.

Необходимо отметить, что на всех этапах синтеза многоуровневой семантической информационной модели влияния инвестиций на уровень качества жизни населения региона использовались методология системно-когнитивного анализа и соответствующие режимы системы "Эйдос", специально предназначенные для решения подобных задач и автоматизирующие соответствующие функции по обработке информации.

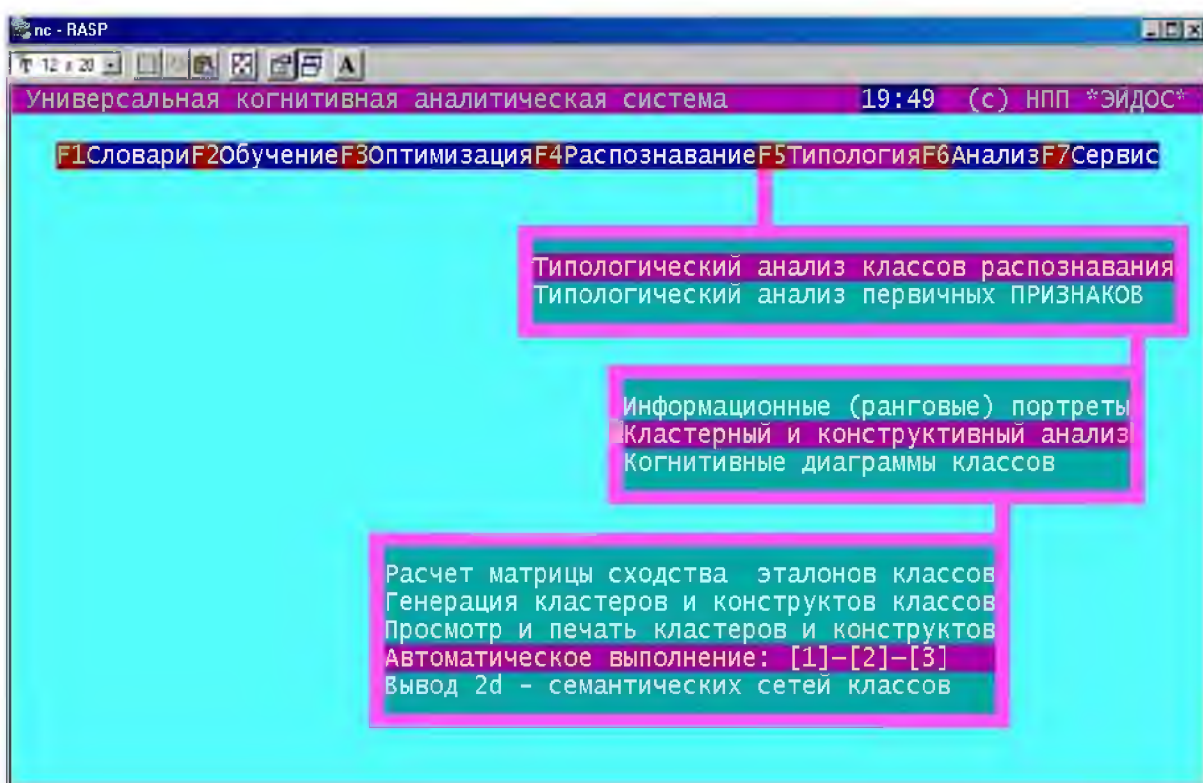


Рисунок 10.7 - Запуск режима кластерно-конструктивного анализа классов в системе "Эйдос"



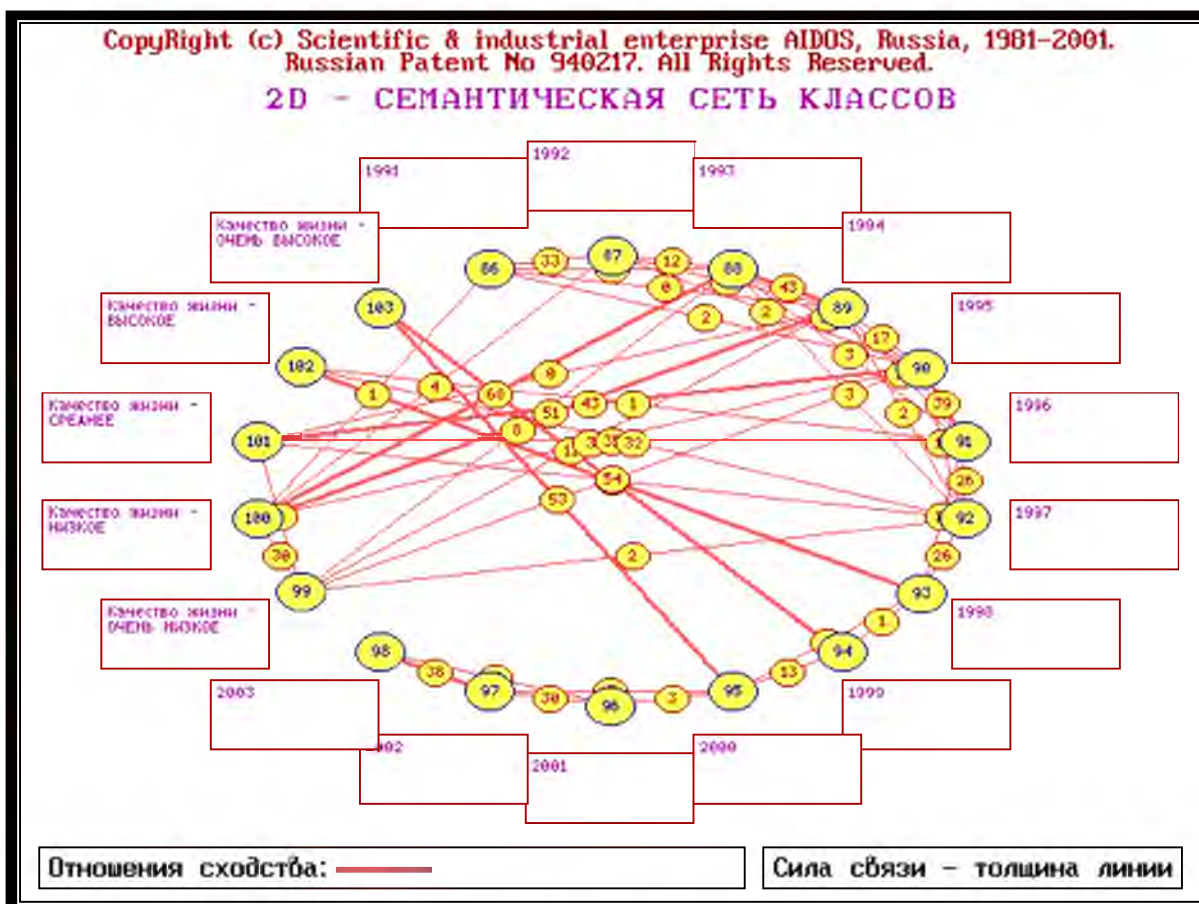


Рисунок 10.8 – Семантическая сеть классов, отражающая результаты идентификации лет в соответствии с интегральным критерием уровня качества жизни

### Заключение

В статье предложена конкретная система шкал и градаций, позволяющая формализовать как первичные показатели, характеризующие развитие производственной сферы и инвестиционную политику, так и вторичные показатели, являющиеся частными критериями оценки экономической составляющей качества жизни населения региона.

Предложена принципиальная схема многоуровневой (иерархической) модели предметной области, из которой на основе экспертных оценок получен интегральный критерий, позволяющий в сопоставимой форме количественно одним числом оценивать качество жизни населения в различные годы и в различных регионах и представляющий собой аддитивную функцию от частных критериев.

Спроектирована обучающая выборка, количественно характеризующая Краснодарский край по большому количеству показателей за 1991–2003 годы. Обучающая выборка автоматически импортирована в универсальную когнитивную аналитическую систему "Эйдос".

Осуществлен поэтапный синтез многоуровневой семантической информационной модели влияния инвестиций на уровень качества жизни населения региона.



## **2.10.2 Исследование многоуровневой семантической информационной модели влияния инвестиций на уровень качества жизни населения региона**

Раздел посвящен углубленному исследованию многоуровневой семантической информационной модели, полученной на основе данных по Краснодарскому краю за 1991–2003 годы. Данная модель отражает влияние инвестиционной политики, а также развития транспортной инфраструктуры, перерабатывающей промышленности, материально-технического снабжения, состояния различных сегментов рынка, структуры себестоимости продукции и производственных результатов в АПК на качество жизни. Продемонстрирована применимость предложенного количественного интегрального критерия уровня качества жизни для идентификации лет исследуемого периода, а также получены функции влияния объемов и направленности инвестиций на уровень качества жизни населения региона. Показано, что это открывает возможности обоснования рекомендаций по структуре и объемам инвестиций, наиболее эффективно влияющих на повышение уровня качества жизни населения региона.

### **Предварительные этапы исследования**

В работе [2] нами впервые предложено и обосновано новое научное понятие "гуманистическая экономика", которое рассматривается, с одной стороны, как экономика, направленная на благо основной массы населения, а не на получение максимальной прибыли, а с другой стороны, как приоритет деятельности региональной администрации. Понятие "гуманистическая экономика" сопоставляется с понятием "социально-ориентированная экономика". Если первая ориентирована на увеличение численности наиболее активной и успешной части населения, то вторая – лишь на поддержку малоимущих слоев. Предложен интегральный критерий оценки степени гуманистической ориентации экономики: уровень качества жизни населения, прежде всего, его экономическая составляющая. Поставлена задача управления качеством жизни и предложена принципиальная когнитивная модель этой системы управления.

В работе [3] идеи, обоснованные на концептуальном уровне в работе [2], конкретизированы до уровня экономической постановки задачи. Изменение качества жизни предложено рассматривать как важнейший интегральный критерий оценки результативности деятельности региональной администрации. Изучена структура и содержание понятия "качество жизни", конкретизированы количественные частные критерии, входящие в состав данного интегрального критерия. Поставлена задача исследования влияния на качество жизни различных факторов, среди которых рассматриваются: инвестиционная политика и активность, развитие транспортной инфраструктуры, перерабатывающей промышленности, материально-технического снабжения, состояние различных сегментов

рынка, структура себестоимости продукции, производственные результаты, налоговые поступления. В этом смысле конкретизирована и принципиальная когнитивная модель, отражающая иерархическую структуру системы факторов, влияющих на качество жизни, в рамках которой структура и объем инвестиций выступают как экономический регулятор, позволяющий управлять качеством жизни населения на уровне региона.

В статье [4] сконструирована конкретная система шкал и градаций, позволяющая формализовать как первичные показатели, характеризующие развитие производственной сферы и инвестиционной политики, так и вторичные показатели, являющиеся частными критериями оценки экономической составляющей качества жизни населения региона. Предложена принципиальная схема многоуровневой (иерархической) модели предметной области, из которой на основе экспертных оценок получен интегральный критерий, позволяющий в сопоставимой форме одним числом оценивать качество жизни населения в различные годы и в различных регионах, представляющий собой аддитивную функцию от частных критериев. Спроектирована обучающая выборка, количественно характеризующая Краснодарский край по большому числу показателей за 1991–2003 годы. Обучающая выборка автоматически включена в универсальную когнитивную аналитическую систему "Эйдос". Осуществлен синтез многоуровневой семантической информационной модели влияния инвестиций на уровень качества жизни населения региона.

### **Задача работы и соотношение понятий: "исследование модели" и "исследование предметной области"**

#### *Задача работы*

Основная задача данной работы состоит в *исследовании семантической информационной модели управления качеством жизни населения на уровне региона* (на примере Краснодарского края).

При этом возникают весьма существенные вопросы:

1. Что понимается нами под исследованием модели?
2. При каких условиях исследование предметной области можно заменить исследованием ее модели?

#### **Содержание понятия "исследование модели"**

Система "Эйдос" предоставляет в распоряжение аналитика развитые средства *исследования* (анализа) **многоуровневой семантической информационной модели** (МСИМ) предметной области: более 100 различных текстовых и графических выходных форм (графических – больше половины), каждая из которых может генерироваться и отображаться в разнообразных вариантах, зависящих от ряда параметров, задаваемых пользователем. Таким образом, система "Эйдос" дает **возможность** исследования многоуровневой семантической информационной модели.

Однако необходимо особо подчеркнуть, что *осмысление*, т. е. *содержательная профессиональная интерпретация* полученных выходных форм по сути дела представляет собой *объяснение* фактически обнаруженных закономерностей в предметной области и является существенно не формализуемым процессом, требующим высокого профессионализма и компетентности именно в исследуемой области.

Таким образом, *исследование модели предполагает собой получение различных выходных форм, отражающих закономерности предметной области, а также разработку содержательной интерпретации этих выходных форм.*

В данной работе остановимся на первом аспекте процесса исследования МСИМ, т. е. получении выходных форм, а принципы их интерпретации проиллюстрируем на нескольких примерах.

### ***Условия, при которых исследование объекта корректно заменить исследованием его модели***

Модель – это отображение моделируемого объекта в некоторую моделирующую среду, т. е. создание в этой среде другого объекта-модели, который в определенных, существенных для решаемой задачи аспектах полно и верно отражает моделируемый объект.

Модель определенным образом информационно связана с оригиналом, поэтому ее можно использовать как для получения информации о поведении моделируемого объекта в различных условиях, которые часто реально неосуществимы, так и для воздействия на этот объект как канала связи с ним.

В данной работе исследование модели можно считать исследованием самой моделируемой предметной области только в том случае, если эта модель полно и правильно отражает основные закономерности в предметной области, т. е. если "модель адекватна".

### **План исследования модели**

Сначала кратко сформулируем основные *пункты плана* этого исследования, основываясь на методологии, технологии и инструментарии системно-когнитивного анализа (СК-анализ), предложенного в работе [1], а затем рассмотрим эти пункты подробнее.

*Исследование модели можно считать исследованием самого моделируемого объекта только в том случае, если модель адекватна.* Поэтому после осуществления синтеза модели в СК-анализе, во-первых, необходимо измерить ее *адекватность*.

Ядром модели является матрица информативностей [1], на основе которой могут быть *непосредственно* получены *2d и 3d профили классов и факторов*, т. е. двухмерные и трехмерные графические диаграммы, отображающие силу и направление влияния различных факторов на качество жизни.

Одной из наиболее важных задач, которые могут решаться на основе созданной многоуровневой семантической информационной модели (МСИМ), является *идентификация (прогнозирование)*. Идентификация

позволяет количественно оценить значение интегрального критерия качества жизни для любого прошедшего года, а прогнозирование – для будущего.

**Информационные портреты** различных значений интегрального критерия качества жизни содержат информацию о том, какие факторы детерминируют эти значения, а факторов различных уровней – какие значения интегрального критерия детерминируются данным значением фактора (последнее в наиболее развитой форме может быть выражено графически в виде функций влияния).

**Кластерно-конструктивный анализ классов** дает возможность сравнить их по сходству системы детерминации и отобразить эту информацию в наглядной графической форме семантической сети классов.

**Кластерно-конструктивный анализ факторов** позволяет сравнить факторы по сходству их влияния на переход объекта в будущие состояния, и эта информация также представляется в форме семантической сети факторов.

**Когнитивные диаграммы классов и факторов** отображают, в чем конкретно состоит сходство и различие любых двух классов или любых двух факторов.

**Нелокальные нейроны и интерпретируемые нейронные сети** позволяют в наглядной форме отобразить систему детерминации будущих состояний.

**Классические когнитивные карты** являются графической формой представления фрагментов МСИМ, объединяющей преимущества таких форм, как нейроны и семантические сети факторов.

**Обобщенные когнитивные карты** представляют собой объединение в одной графической форме семантических сетей классов и факторов, объединенных нейронной сетью.

Рассмотрим эти пункты анализа МСИМ подробнее.

#### **Адекватность модели**

**Адекватность модели** – это ее способность верно идентифицировать объекты. Понятие адекватности имеет свою структуру, включающую понятия внутренней и внешней, дифференциальной и интегральной валидности.

#### **Внутренняя дифференциальная и интегральная валидность**

Под **внутренней валидностью** понимается способность модели верно идентифицировать объекты, входящие в обучающую выборку.

Для измерения адекватности модели необходимо выполнить следующие действия:

1. Скопировать обучающую выборку в распознаваемую (во 1-м режиме 2-й подсистемы, нажав клавишу F5).
2. Выполнить пакетное распознавание (во 2-м режиме 4-й подсистемы, задав 1-й критерий сходства).
3. Измерить адекватность модели (во 2-м режиме 6-й подсистемы).

Эта форма может прокручиваться вправо-влево. В верхней части формы приведены показатели **интегральной валидности**

(средневзвешенные по всей обучающей выборке), а в самой таблице – **дифференциальной валидности**, т. е. в разрезе по классам.

Кроме того, результаты измерения адекватности модели выводятся в форме файлов с именами ValidSys.txt и ValAnkSt.txt стандарта "ТХТ-текст DOS" в поддиректории ТХТ.

Рассмотрим, что означают графы этой выходной формы.

"*Всего логических анкет*" – это количество анкет в обучающей выборке, на основе которых формировался образ данного класса.

"*Идентифицировано верно*" – это количество анкет обучающей выборки, которые идентифицированы как классы, к которым они действительно относятся.

"*Идентифицировано ошибочно*" – это количество анкет обучающей выборки, которые идентифицированы как классы, к которым они в действительности не относятся (ошибка идентификации).

"*Неидентифицировано верно*" – это количество анкет обучающей выборки, которые неидентифицированы как классы, к которым они действительно не относятся.

"*Неидентифицировано ошибочно*" – это количество анкет обучающей выборки, которые неидентифицированы как классы, к которым они в действительности относятся (ошибка неидентификации).

В правой части формы приведены те же показатели, но в процентном выражении:

– для анкет, идентифицированных верно и неидентифицированных ошибочно, за 100 % принимается количество логических анкет обучающей выборки по данному классу;

– для анкет, идентифицированных ошибочно и неидентифицированных верно, за 100 % принимается суммарное количество логических анкет обучающей выборки за вычетом логических анкет по данному классу.

В данной форме приведены коды анкет обучающей выборки, которые были учтены в каждой графе предыдущей формы по каждому классу.

### ***Внешняя дифференциальная и интегральная валидность***

Под ***внешней валидностью*** понимается способность модели верно идентифицировать объекты, не входящие в обучающую выборку, но относящиеся к генеральной совокупности, по отношению к которой она репрезентативна.

Для измерения внешней валидности необходимо выполнить следующие действия:

1. В режиме измерения адекватности модели запустить режим измерения внешней валидности (нажав F8 Измерение внешней валидности).

2. Выполнить действия, рекомендуемые в экранной форме.

По результатам измерения внутренней дифференциальной и интегральной валидности можно сделать вывод о том, что созданная модель обладает достаточной адекватностью (85,53 %) для того, чтобы исследовать

влияние рассматриваемых в ней факторов, прежде всего, инвестиционной политики, на уровень качества жизни.

### Идентификация и прогнозирование

Математически эти задачи не отличаются, и разница между ними состоит лишь в том, что при идентификации признаки и состояния объекта относятся к одному моменту времени, а при прогнозировании признаки (факторы) относятся к прошлому, а состояния объекта – к будущему.

Идентификация и прогнозирование осуществляются в 4-й подсистеме системы "Эйдос". При этом описания объектов должны быть в распознаваемой выборке.

Если мы исследуем объекты обучающей выборки, то их описания могут быть скопированы в распознаваемую непосредственно из режима ввода обучающей информации нажатием клавиши F5 в 1-м режиме 2-й подсистемы. В случае исследования новых объектов, по которым еще нет верифицированной информации, то их описания могут быть непосредственно введены в распознаваемую выборку.

На рисунке 10.9 приведены результаты идентификации обобщенных образов (классов) лет и градаций интегрального критерия уровня качества жизни.

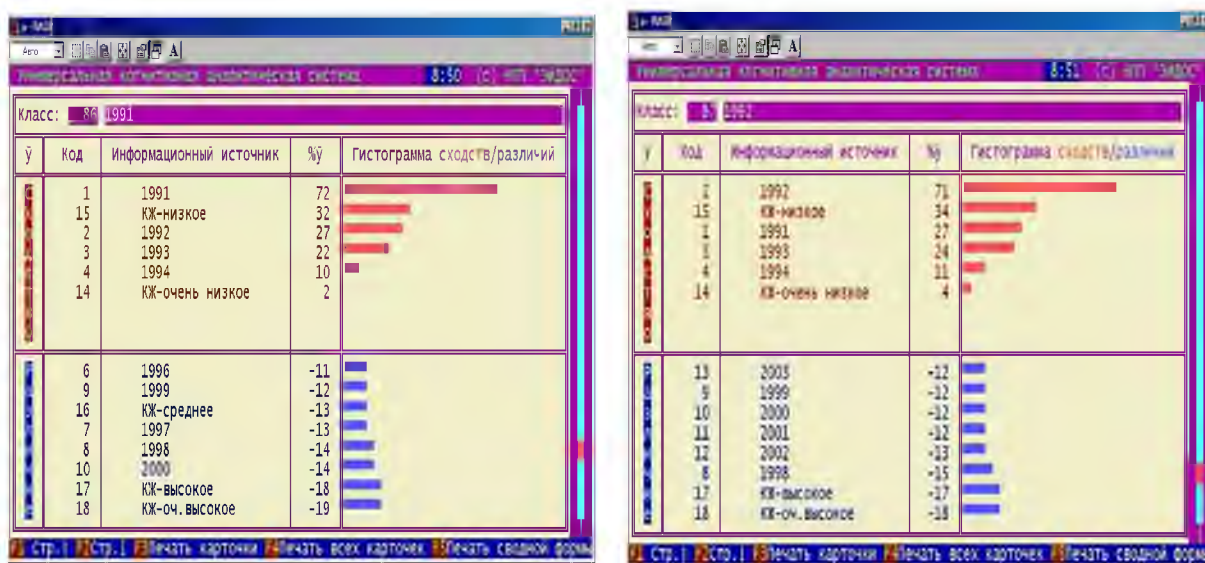


Рисунок 10.9 - Карточки идентификации лет и уровней качества жизни

Даже только один этот режим позволяет количественно сравнивать годы друг с другом и с градациями интегрального критерия уровня качества жизни.

### 2d & 3d профили классов и факторов

Отображение профилей классов и факторов осуществляется в 4-м режиме 6-й подсистемы системы "Эйдос".

**Профилем класса** называется графическое отображение столбца матрицы информативностей, соответствующий данному классу.

**Профиль признака (фактора)** – графическое отображение строки матрицы информативностей, соответствующее данному признаку.

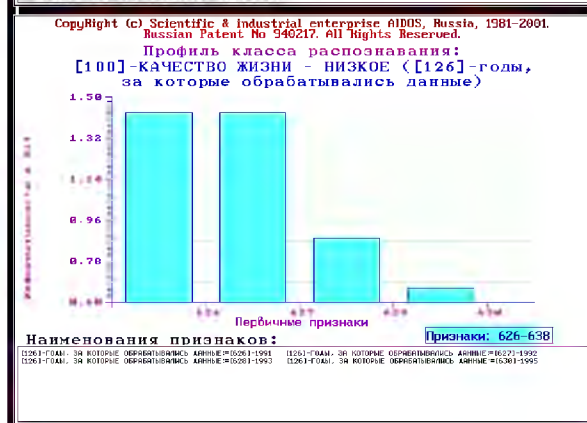
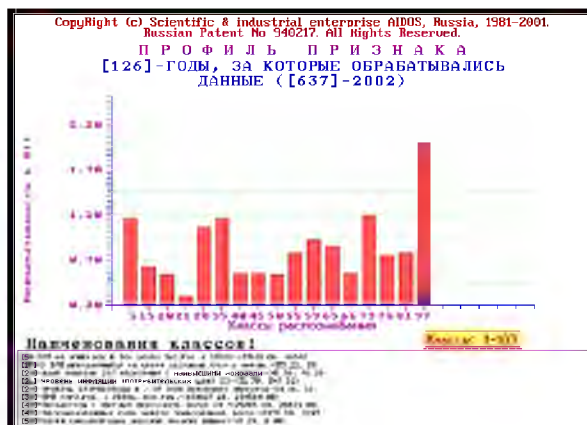
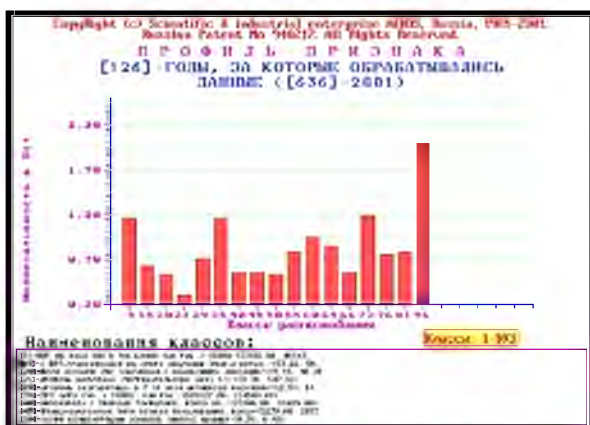
**Информативности факторов** при этом означают силу и направление влияния данного фактора на переход системы в состояние, соответствующее данному классу.

Система "Эйдос" позволяет генерировать и отображать на экране, а также записывать в виде РСХ-файлов в соответствующих поддиректориях директории РСХ в текущей директории системы "Эйдос" двумерные и трехмерные отображения любых подстолбцов, подстрок и подматриц матриц информативностей, абсолютных частот или условных процентных распределений (рисунок 10.10).

### Информационные портреты классов и факторов различных уровней, функции влияния

#### Определения основных понятий

В 1-м режиме 5-й подсистемы системы "Эйдос" обеспечивается генерация информационных портретов классов, а во 2-м – факторов. При этом результаты могут выдаваться в форме текстовых выходных форм, а также в графической форме круговых диаграмм и функций влияния.





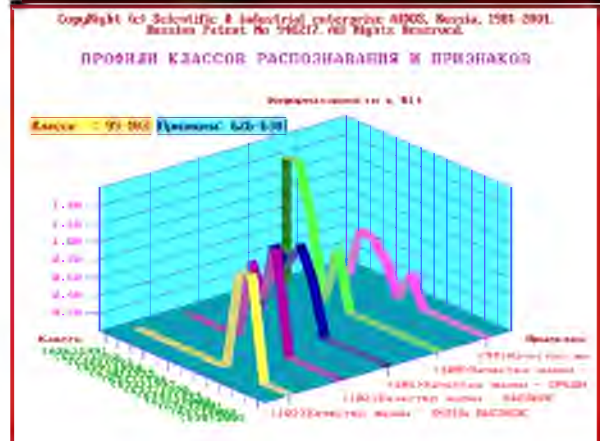
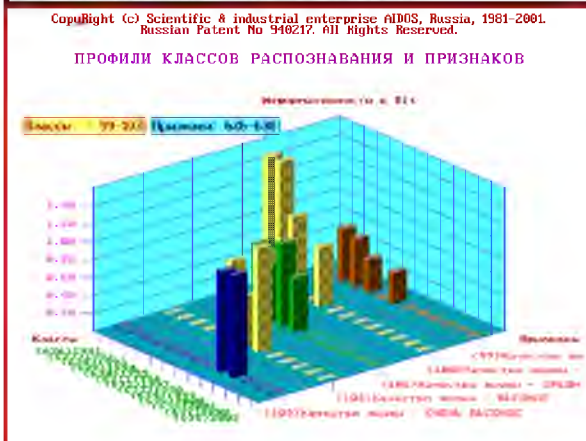
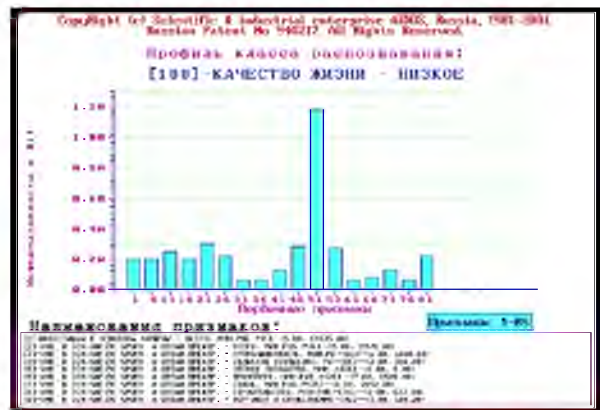


Рисунок 10.10 - Примеры некоторых двухмерных и трехмерных графических форм, позволяющих отображать профили классов и факторов

*Информационный портрет класса* – это список факторов, ранжированных в порядке убывания силы их влияния на переход объекта управления в состояние, соответствующее данному классу.

Информационный портрет класса отражает систему его детерминации. Генерация информационного портрета класса представляет собой решение обратной задачи прогнозирования, т. к. при прогнозировании по системе факторов определяется спектр наиболее вероятных будущих состояний объекта управления, в которые он может перейти под влиянием данной системы факторов. В информационном портрете мы, наоборот, по заданному будущему состоянию объекта управления определяем систему факторов, детерминирующих это состояние, т. е. вызывающих переход объекта управления в это состояние. В начале информационного портрета класса идут факторы, оказывающие положительное влияние на переход объекта управления в заданное состояние, затем факторы, не оказывающие на это существенного влияния, и далее – факторы, препятствующие переходу объекта управления в это состояние (в порядке возрастания силы препятствования). Информационные портреты классов могут быть **отфильтрованы** по диапазону факторов, т. е. мы можем отобразить влияние на переход объекта управления в данное состояние не всех отраженных в модели факторов, а только тех, коды которых попадают в определенный диапазон, например, относятся к определенным описательным шкалам.

*Информационный (семантический) портрет фактора* – это список классов, ранжированный в порядке убывания силы влияния данного фактора на переход объекта управления в состояния, соответствующие данным классам.

Информационный портрет фактора называется также его *семантическим портретом*, т. к. в соответствии с концепцией смысла системно-когнитивного анализа, являющейся обобщением концепции смысла Шенка – Абельсона, *смысл фактора состоит в том, какие будущие состояния объекта управления он детерминирует* [6].

Сначала в этом списке представлены состояния объекта управления, на переход в которые данный фактор оказывает наибольшее влияние, затем состояния, на которые данный фактор не оказывает существенного влияния, и далее состояния – переходу в которые данный фактор препятствует.

Информационные портреты факторов могут быть *отфильтрованы* по диапазону классов, т. е. мы можем отобразить влияние данного фактора на переход объекта управления не во все возможные будущие состояния, а только в те из них, коды которых попадают в определенный диапазон, например, относятся к определенным классификационным шкалам.

Если использовать несколько информационных портретов факторов, соответствующих градациям одной описательной шкалы, отфильтровать их по диапазону градаций некоторой классификационной шкалы и взять из каждого информационного портрета по одному состоянию, на переход в которое объекта управления данная градация фактора оказывает наибольшее влияние, то мы получим зависимость, отражающую вероятность перехода объекта управления в будущие состояния под влиянием различных значений некоторого фактора.

*Функция влияния* представляет собой график зависимости вероятностей перехода объекта управления в будущие состояния под влиянием различных значений некоторого фактора.

Функции влияния являются наиболее развитым средством изучения причинно-следственных зависимостей в моделируемой предметной области, предоставляемым системой "Эйдос". Необходимо отметить, что на вид функций влияния математической моделью СК-анализа не накладывается никаких ограничений, в частности, они могут быть и *нелинейные*.

Смысл функции влияния можно прояснить, если представить себе упрощенный случай, когда имеются всего две описательные шкалы, формализующие факторы, и одна классификационная, формализующая состояния объекта управления. В этом случае функции влияния можно считать *сечениями* поверхности двухмерного графика, отражающего зависимость состояний объекта от факторов, поверхностью, параллельной классификационной шкале, и одной из описательных шкал. Этот смысл функций влияния сохраняется и тогда, когда классификационных и описательных шкал много, но наглядно представить себе это сложно.

### *Детерминация интервальных значений интегрального критерия уровня качества жизни направлением и объемами инвестиций*

Рассмотрим классификацию информационных портретов, которые позволяет генерировать многоуровневая семантическая информационная модель (таблица 10.7).

В соответствии с задачей, поставленной в данной работе, рассмотрим лишь информационные портреты, отражающие влияние структуры инвестиций на качество жизни (выделено цветом).

Таблица 10.7 - Классификация информационных портретов в многоуровневой семантической информационной модели

Факторы (наименования, коды)		Классы (наименования, коды)		
		Уровень качества жизни	Годы	Частные критерии уровня качества жизни
Наименования	Коды	99–103	86–98	1–85
Годы	626–638			
Частные критерии уровня качества жизни	541–625			
Первичные факторы (инвестиции)	1–85			

Для управления генерацией информационных портретов в системе "Эйдос" имеется режим, обеспечивающий удобное полуавтоматическое задание параметров портретов, т. е. диапазонов классов и факторов (табл. 2). Мы сформировали это задание в соответствии с данными таблицы 1.

Информационные портреты, соответствующие заданиям 1–17 и отражающие зависимость уровня качества жизни от отдельных видов инвестиций, оказались малоинформативными, т. к. в них, как правило, содержалось всего по 2–3 строки. Поэтому мы остановились на портретах, генерируемых по заданию 18, в котором рассматривается влияние всех факторов, связанных с инвестициями, на уровень качества жизни.

Из этих информационных портретов, которые в данной статье не приводятся из-за его ограниченного объема, следует, прежде всего, вывод об определяющей роли очень низких объемов инвестиций в основной капитал крупных и средних предприятий **здравоохранения** (код описательной шкалы: 12, код градации: 56) в получении такого плачевного результата, как **очень низкий уровень качества жизни** населения. Вторым по значимости фактором, влияющим на получение этого нежелательного результата, но более чем в два раза уступающим первому по силе воздействия, является низкий объем инвестиций в основной капитал крупных и средних предприятий **жилищно-коммунального хозяйства** (код описательной шкалы: 11, код градации: 52).

Из информационного портрета **низкого** уровня качества жизни видно, что он детерминируется **очень низким** объемом инвестиций в основной капитал крупных и средних предприятий жилищно-коммунального хозяйства (код описательной шкалы: 11, код градации: 51), а также в лесное хозяйство (коды: 5–21) и прочие производственные предприятия (коды: 10–

46). Из сравнения информационных портретов очень низкого и низкого уровней качества жизни очевидна их высокая степень сходства, которая количественно будет оценена ниже.

Из информационного портрета *среднего* уровня качества жизни видно, что он детерминирован значительно менее жестко, чем очень низкий и низкий. Однако этот результат достигается при очень низких, низких и средних объемах инвестиций в такие отрасли, как лесное хозяйство, прочие производственные предприятия, жилищно-коммунальное хозяйство, промышленность и транспорт.

Из информационного портрета *высокого* уровня качества жизни следует, что он детерминируется средними объемами инвестиций в основной капитал крупных и средних предприятий промышленности (коды: 3–12), низкими объемами инвестиций в лесное хозяйство (коды: 5–22) и прочие производственные предприятия (коды: 10–47). В данном случае может возникнуть естественный вопрос о том, как низкие и средние объемы инвестиций могут положительно сказываться на уровне качества жизни? Ответ, по-видимому, состоит в том, что отрицательный результат достигается, как это видно из предыдущих информационных портретов, при еще более низких объемах инвестиций в эти отрасли, т. е. соответственно при низких и очень низких их объемах. Однако несмотря на то, что это объяснение вполне обосновано, возникает другой вопрос: "Как сказывается на уровне качества жизни высокий и очень высокий объем инвестиций?" Для того чтобы получить ответ на этот вопрос, необходимо использовать информационные портреты соответствующих градаций *факторов*, что мы и сделаем ниже в следующем разделе.

Из информационного портрета *очень высокого* уровня качества жизни видно, что он жестко детерминируется высокими объемами инвестиций в основной капитал в целом по краю (коды: 1–4), средними объемами инвестиций в сельское хозяйство (коды: 4–18), в науку (15–73) и АПК (17–83); низким – в торговлю и общественное питание (9–42). Здесь возникает тот же вопрос, что и при анализе предыдущего информационного портрета.

В целом по информационным портретам классов можно сделать вывод о том, что портреты очень низкого, низкого и среднего уровней качества жизни более или менее соответствуют интуитивным представлениям экспертов, тогда как портреты высокого и очень высокого уровней жизни требуют дополнительных исследований и интерпретации.

### ***Информационные портреты факторов***

Рассмотрим информационные портреты значений факторов, отражающих суммарный объем инвестиций в основной капитал, с фильтрацией по кодам классов от 86 до 103, показывающей влияние этих значений факторов на уровень качества жизни и их характерность для различных лет исследуемого периода.

Из этих информационных портретов видно, что повышение объемов инвестиций в основной капитал *сопровождается* повышением уровня качества жизни, что согласуется с интуитивными ожиданиями.

### Функции влияния

В функциях влияния мы можем представить информацию, содержащуюся в информационных портретах, в форме графиков.

Прежде всего, рассмотрим функцию влияния, представляющую собой *один из основных результатов работы, т. е. результаты факти-ческого применения предложенного интегрального критерия уровня качества жизни для идентификации каждого года исследуемого периода* (рисунок 10.11).

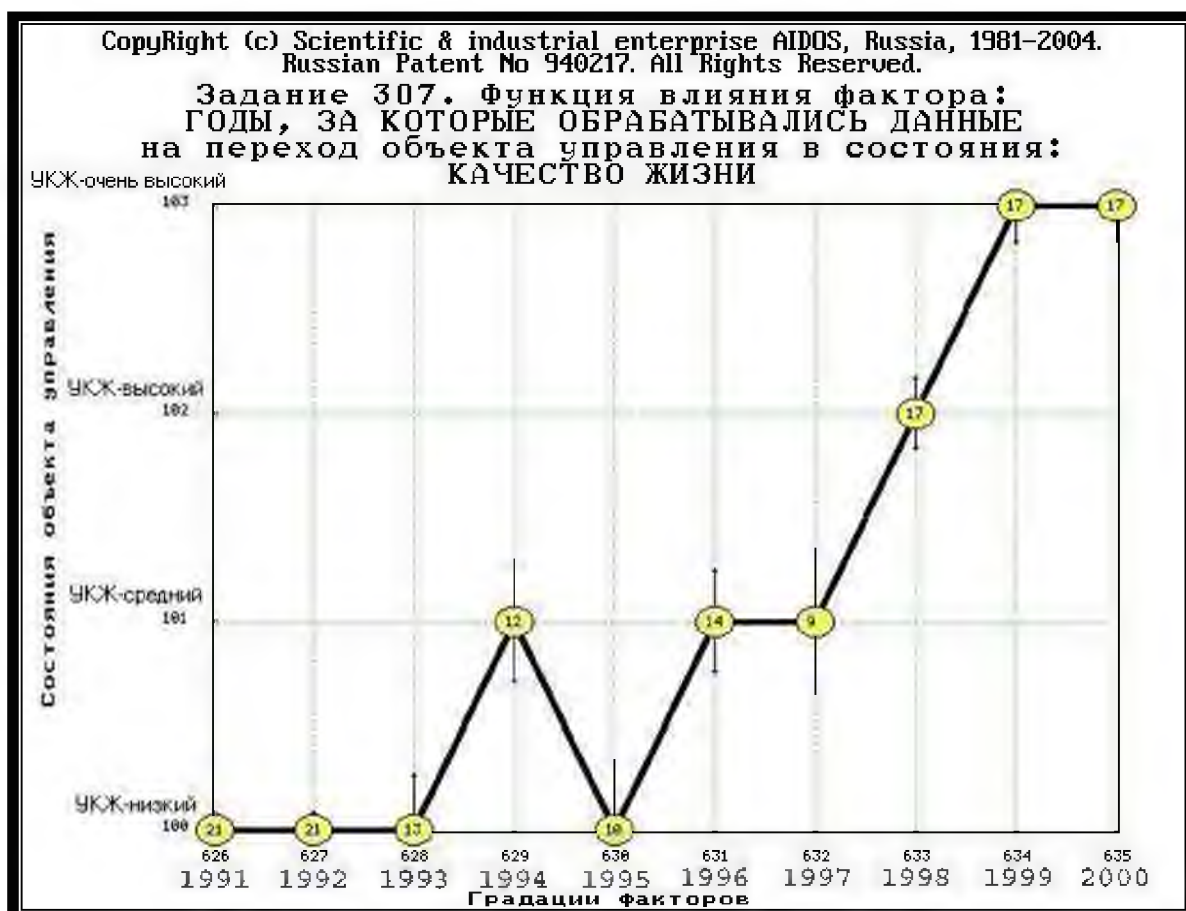


Рисунок 10.11 - Идентификация лет с 1991 по 2003 с применением интегрального критерия уровня качества жизни

Из рисунка 3 отчетливо видна общая тенденция, состоящая в том, что в соответствии с предложенным критерием в течение рассмотренного периода уровень качества жизни населения региона постоянно и неуклонно увеличивался. Годы с 2001 по 2003 идентифицировать не удалось по причинам, которые будут рассмотрены ниже. В каждой точке, характеризующей уровень качества жизни, приведено число, представляющее собой аналог доверительного интервала, известного в статистике, имеющийся в математической модели СК-анализа.



Рассмотрим функции, отражающие:

1) *влияние инвестиций на значения интегрального критерия уровня качества жизни;*

2) *влияние инвестиций на значения частных критериев уровня качества жизни.*

Эти функции также являются одним из основных результатов данной работы.

Для удобства исследования во 2-м режиме 5-й подсистемы системы "Эйдос" реализован полуавтоматический режим формирования задания на генерацию информационных портретов и функций влияния.

Все эти функции в данной работе привести нет возможности, т. к. только функций влияния структуры инвестиций на уровень качества жизни существует 257. Мы и не ставим перед собой задачу проанализировать их все. Несколько упрощая отражаемые этими функциями зависимости, можно классифицировать их всего на три типа:

- 1) прямо пропорциональные;
- 2) обратно пропорциональные;
- 3) смешанные (зигзагообразные и куполообразные).

Упрощение состоит в том, что функции влияния в СК-анализе в общем случае отражают *нелинейные* зависимости.

Рассмотрим типичные примеры функций влияния объемов инвестиций в различные отрасли на уровень качества жизни (рисунок 10.12).

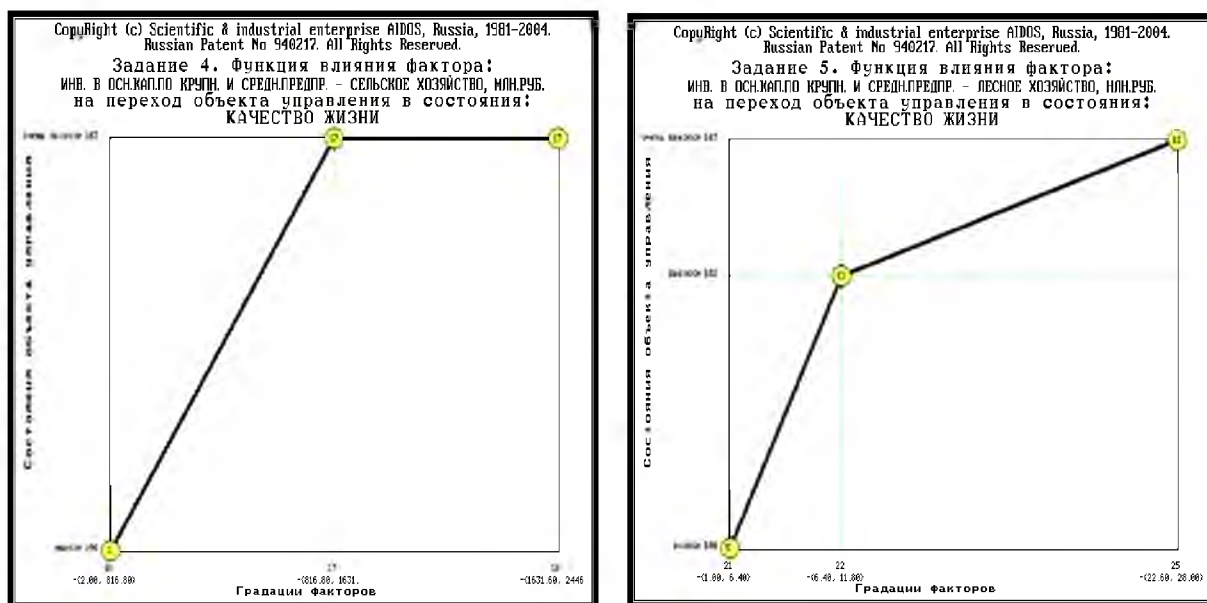


Рисунок 10.12 - Функции влияния структуры инвестиций на уровень качества жизни

На основании анализа функций влияния, приведенных на рисунке 4, можно сделать общий вывод о том, что *увеличение объемов инвестиций положительно сказывается на повышении уровня качества жизни*. Отметим, что другие функции влияния объемов инвестиций на уровень качества жизни имеют аналогичный вид.

Этот вывод совпадает с экспертными оценками. Однако его ценность состоит в том, что в отличие от экспертных оценок, он является **строгим количественным** выводом, сделанным путем исследования многоуровневой семантической информационной модели, созданной с использованием большого объема статистической информации, отражающей **фактическую** динамику на уровне региона (Краснодарского края) с 1991 по 2003 годы.

Прямо пропорциональная зависимость значений интегрального критерия уровня качества жизни, а также ряда частных критериев от объема инвестиций наблюдается в тех случаях, когда возрастание объемов инвестиций увеличивает значения критерия, а обратно пропорциональная зависимость – в противоположном случае.

Выводы, которые можно сделать на основе полученных функций влияния. Валовой региональный продукт (ВРП), приходящийся на душу населения, возрастает при увеличении объемов инвестиций, т. к. инвестиции положительно влияют на развитие производства, уровень занятости населения и увеличение доходов работников. Внедрение научных достижений в производство повышает уровень его экологической безопасности, снижая количество вредных выбросов в атмосферу. Укрепление производства, повышение его стабильности вследствие увеличения объемов инвестиций снижают уровень инфляции. Смешанный вариант, как правило, относится к куполообразным функциям и функциям с "ямой", т. е. обратным куполам.

Приведем функции влияния на уровень качества жизни сельскохозяйственного производства, перерабатывающей промышленности, материально-технического снабжения в АПК, а также транспортной инфраструктуры (рисунок 10.13).

Согласно виду функций влияния следует общий вывод о положительном воздействии увеличения объемов сельскохозяйственного производства предприятиями и хозяйствами различных категорий на повышение уровня качества жизни.

### **Кластерно-конструктивный анализ классов и факторов и семантические сети классов и факторов**

Кластерно-конструктивный анализ проводится в 5-й подсистеме системы "Эйдос" и позволяет:

- выявить классы, наиболее сходные по системе их детерминации, и объединить их в кластеры;
- выявить кластеры классов, наиболее сильно отличающиеся по системе их детерминации, и построить из них полюса конструкторов классов;
- выявить факторы, наиболее сходные по детерминируемым ими классам, и объединить их в кластеры;
- выявить кластеры факторов, наиболее сильно отличающиеся по детерминируемым ими классам, и построить из них полюса конструкторов факторов.



Состояния объекта управления, соответствующие классам, включенным в один кластер, могут быть достигнуты одновременно, т. е. являются совместимыми по детерминирующим их факторам.

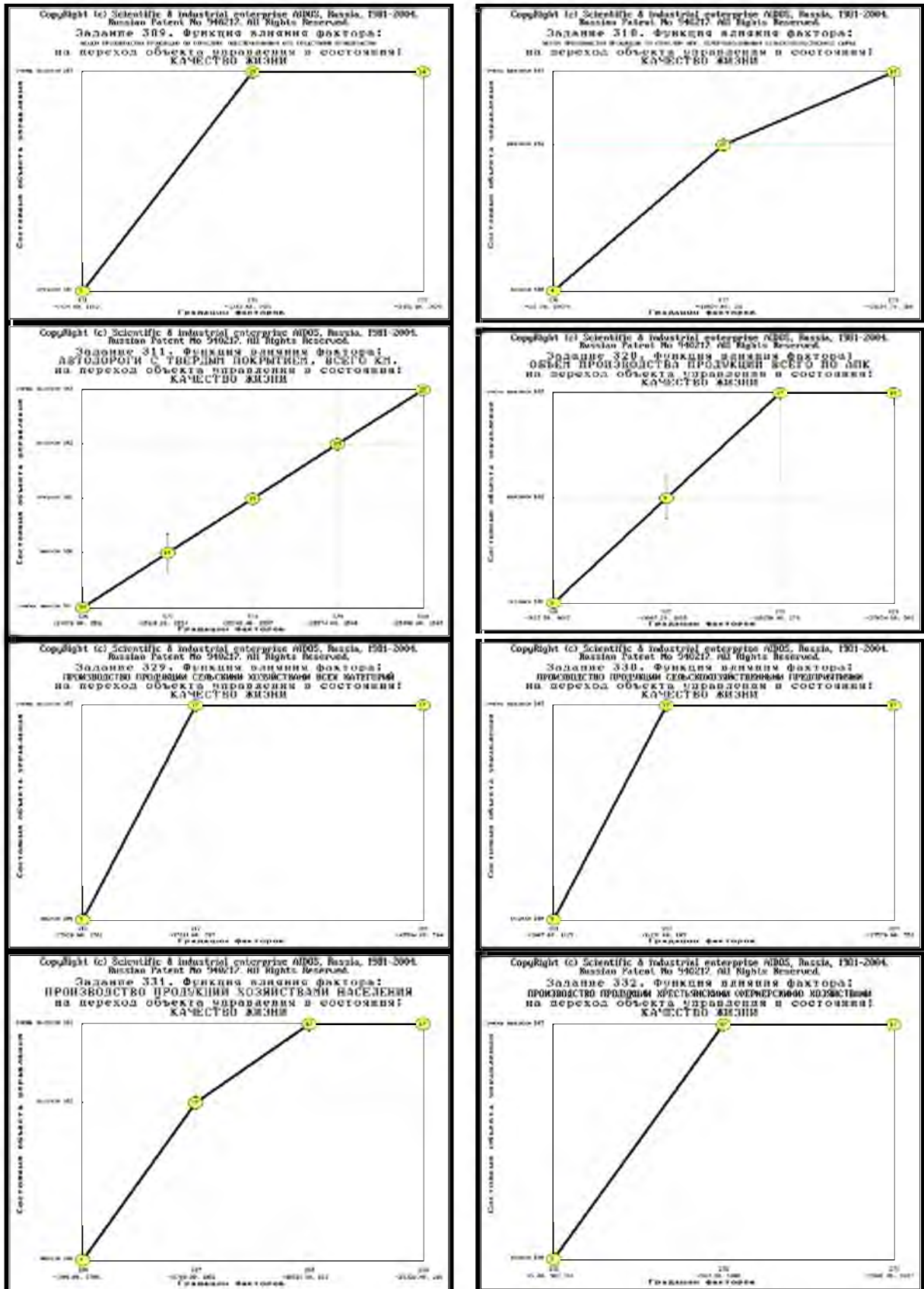


Рисунок 10.13 - Влияние на уровень качества жизни

сельскохозяйственного производства, перерабатывающей промышленности, материально-технического снабжения в АПК, а также транспортной инфраструктуры

Состояния объекта управления, соответствующие классам, образующим полюса конструкта, не могут быть достигнуты одновременно, т. е. являются противоположными по детерминирующим их факторам.

Факторы, включенные в один кластер, оказывают сходное влияние на поведение объекта управления и могут, при необходимости, быть использованы для замены друг друга.

Факторы, образующие полюса конструкта, оказывают противоположное влияние на поведение объекта управления.

Результаты кластерно-конструктивного анализа классов и факторов выводятся в системе "Эйдос" в форме текстовых форм и в графической форме семантических сетей. Рассмотрим некоторые примеры таких форм (рисунок 10.14).

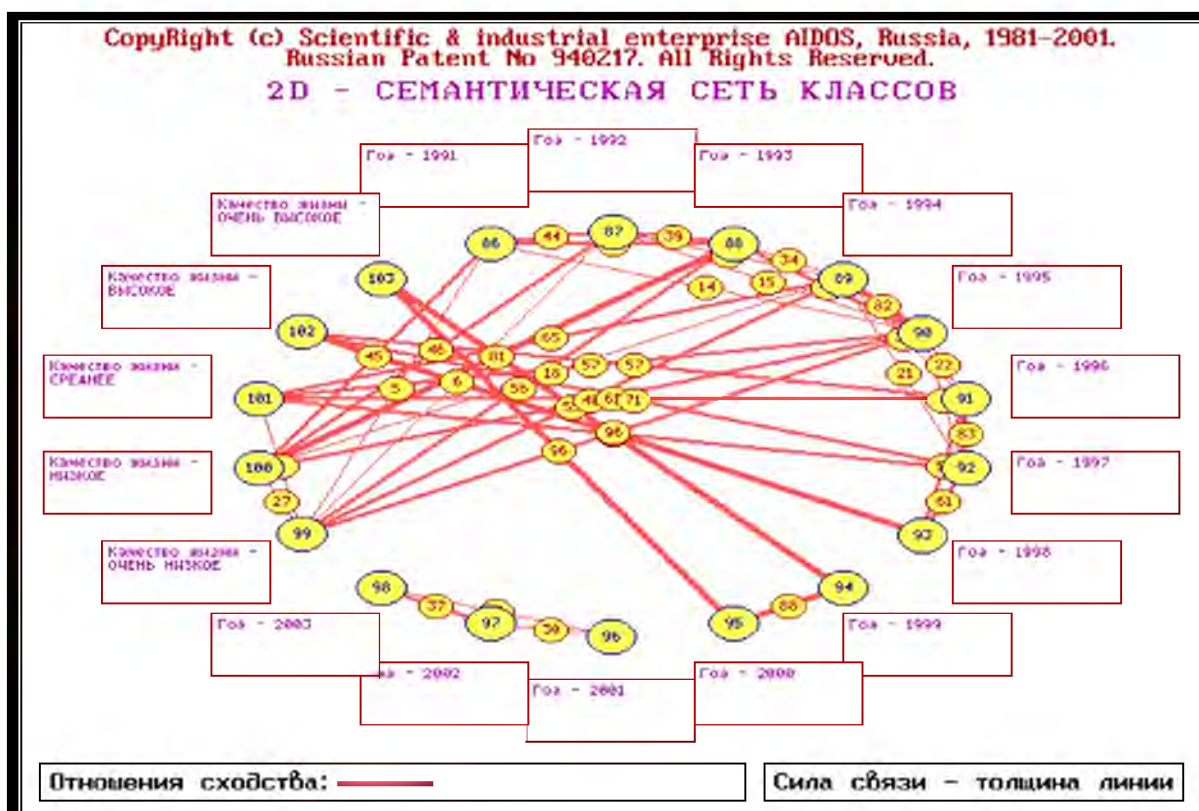


Рисунок 10.14 – Графическое отображение результатов кластерно-конструктивного анализа классов в форме семантической сети (показаны все отношения сходства)

Выводы по анализу семантической сети классов, представленной на рисунке 6. Прежде всего, в ней содержится информация о сходстве обобщенных образов различных лет с обобщенными образами градаций интегрального критерия уровня качества жизни. Низким уровнем качества жизни (по использованным критериям) характеризуются 1993 и 1994 годы, средним – 1995 год, а очень высоким – 1999 и 2000 годы. Обращает на себя

внимание то обстоятельство, что годы с 2001 по 2003 вообще оказались не имеющими сходства ни с одной из градаций интегрального критерия качества жизни. Это можно интерпретировать таким образом, что данный критерий неприменим для оценки уровня качества жизни в эти годы и требует совершенствования, может быть, путем введения дополнительных градаций и самого увеличения диапазона шкалы интегрального критерия.

Кроме того, в семантической сети содержится информация о сходстве самих обобщенных образов лет друг с другом.

Смежные годы похожи друг на друга, особенно 1993 и 1994, несколько в меньшей степени – 1991 и 1992, 1995 и 1996; 1999 год имел самый низкий уровень сходства между смежными годами с 1998 годом, что можно предположительно объяснить действием дефолта, а также между 2000 и 2001 годами, что, по-видимому, свидетельствует о возникновении определенной необратимости в реальных преобразованиях экономики после дефолта. На 1999 и 2000 годах *непосредственно* отразились последствия дефолта, а с 2001 по 2003 годы шло ускоренное развитие экономики на основе новых принципов и условий, сформировавшихся в результате процессов, ярким внешним проявлением которых стал дефолт.

В более обобщенном плане видно, что период с 1991 по 2003 годы можно, в свою очередь, с высокой степенью обоснованности разделить на два подпериода: до 1998 года, включая и его, и после 1998 года.

**1-й период (1991–1998 гг.)** характеризуется высокой степенью сходства не только смежных, но и отстоящих друг от друга на 2 и даже 3 года лет. Например, 1991 год имеет сходство с 1992, 1993, 1994 и даже с 1995 годами; 1997 год сходен не только с 1996, но и с 1995, 1994 и даже с 1993 годом. Это означает, что 1-й период характеризуется *очень медленным* изменением социально-экономической ситуации.

**2-й период (1999–2003 гг.)** отличается более радикальным характером преобразований и значительно более *высокой динамичностью*. Во 2-м периоде можно обоснованно выделить два подпериода: 1999–2000 годы непосредственного воздействия последствий дефолта, и 2001–2003 годы качественных преобразований, пока не поддающиеся *положительной* классификации с использованием шкалы интегрального критерия уровня качества жизни. Что же можно сказать об этих годах? Во-первых, то, что 2001 год *не характеризуется* очень низким уровнем жизни, так же как 2001, 2002 и 2003 годы. Во-вторых, 2001 год *не похож* на 1994 и 1995, а 2002 – на 1994, 1996 и 1997 годы.

Неприменимость данного критерия к этим годам можно предположительно объяснить тем, что он сформирован на основе информации за весь период с 1991 по 2003 годы. Однако информация за 2003 год по ряду показателей на момент проведения исследования (май – июнь 2003 года) еще отсутствовала. Поэтому относительный вес информации за 2000–2003 годы в общем объеме всей использованной при формировании критерия информации относительно невелик, а информация до 1999 года по сути дела играет роль дезинформации при исследовании периода с 2000 по 2003 годы.

Есть два варианта выхода из этой ситуации: 1) пересинтез модели с исключением из нее информации до 1999 года; 2) пересинтез модели с добавлением в нее полной информации за 2003 и последующие годы, это не входит в задачи данной статьи.

Кроме того, в семантической сети содержится информация о сходстве обобщенных образов градаций интегрального критерия качества жизни друг с другом. Видно, что градации качества жизни "Очень низкий" и "Низкий" имеют сходство на уровне 27, а "Очень низкий" и "Средний" – менее 10, что, в общем, вполне логично. В то же время "Очень высокий" уровень качества жизни не сходен с "Очень низким", "Низким" и "Средним".

Все это в совокупности позволяет сделать вывод о возможности и эффективности применения аппарата семантических сетей классов для использования интегрального критерия уровня качества жизни к годам, анализировать динамику и осуществлять типологическую периодизацию социально-экономического развития региона по этому показателю.

Из семантических сетей классов и факторов видно, какие состояния объекта управления детерминируются сходными системами факторов и достижимы одновременно и какие факторы оказывают на объект управления сходное, а какие – противоположное воздействие.

#### **Когнитивные диаграммы классов и факторов**

Детально увидеть структуру каждой линии связи в семантической сети классов позволяют когнитивные диаграммы классов (рис. 7).

Согласно виду функций влияния следует общий вывод о положительном воздействии увеличения объемов сельскохозяйственного производства предприятиями и хозяйствами различных категорий на повышение уровня качества жизни.

#### **Кластерно-конструктивный анализ классов и факторов и семантические сети классов и факторов**

Кластерно-конструктивный анализ проводится в 5-й подсистеме системы "Эйдос" и позволяет:

- выявить классы, наиболее сходные по системе их детерминации, и объединить их в кластеры;
- выявить кластеры классов, наиболее сильно отличающиеся по системе их детерминации, и построить из них полюса конструктов классов;

Слева и справа на когнитивной диаграмме классов расположены информационные портреты классов. На каждом портрете факторы ранжированы сверху вниз в порядке убывания силы влияния на переход объекта управления в состояние, соответствующее данному классу. Красным цветом обозначены факторы, оказывающие положительное



**КОГНИТИВНЫЕ ДИАГРАММЫ КЛАССОВ РАСПОЗНАВАНИЯ:**

[87]-ГОД - 1991

[99]-КАЧЕСТВО ЖИЗНИ - ОЧЕНЬ ВЫС

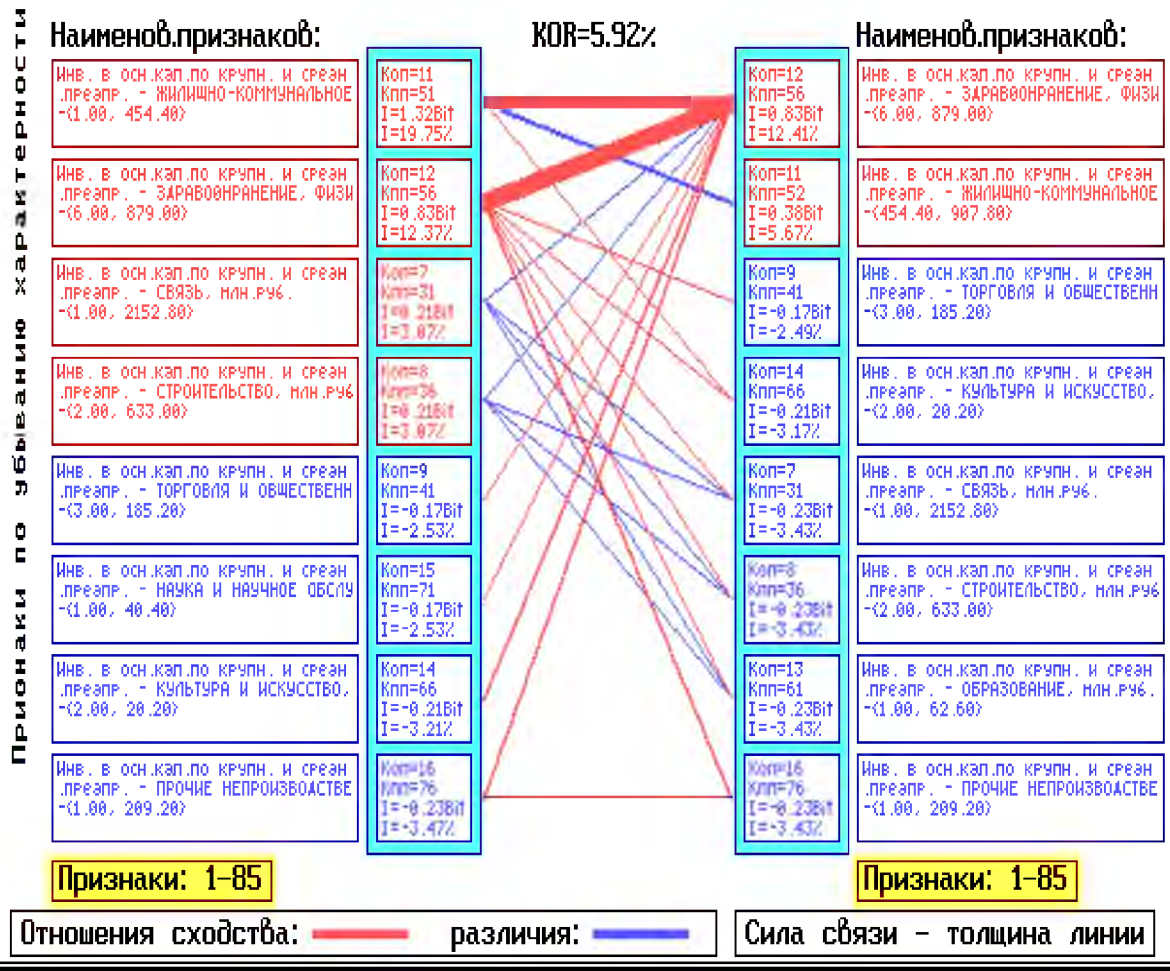


Рисунок 10.15 – Примеры когнитивных диаграмм классов

влияние на этот переход, а синим – отрицательное. Факторы правого и левого портретов соединены линиями красного цвета, если эти факторы вносят вклад в сходство двух классов, и синими – если в различие. Толщина этих линий соответствует величине вклада. В принципе, *эта диаграмма представляет собой графическое изображение коэффициента корреляции. При этом каждая линия, вносящая вклад в сходство или различие, соответствует одному слагаемому, ее цвет – знаку, а толщина – модулю этого слагаемого.* Однако в когнитивных диаграммах учтены также корреляции между факторами, поэтому в них слагаемых больше, чем в классическом коэффициенте корреляции [1]. Аналогично, детально изучить структуру каждой линии связи семантической сети факторов позволяют инвертированные когнитивные диаграммы, примеры которых приведены на рисунке 10.16.

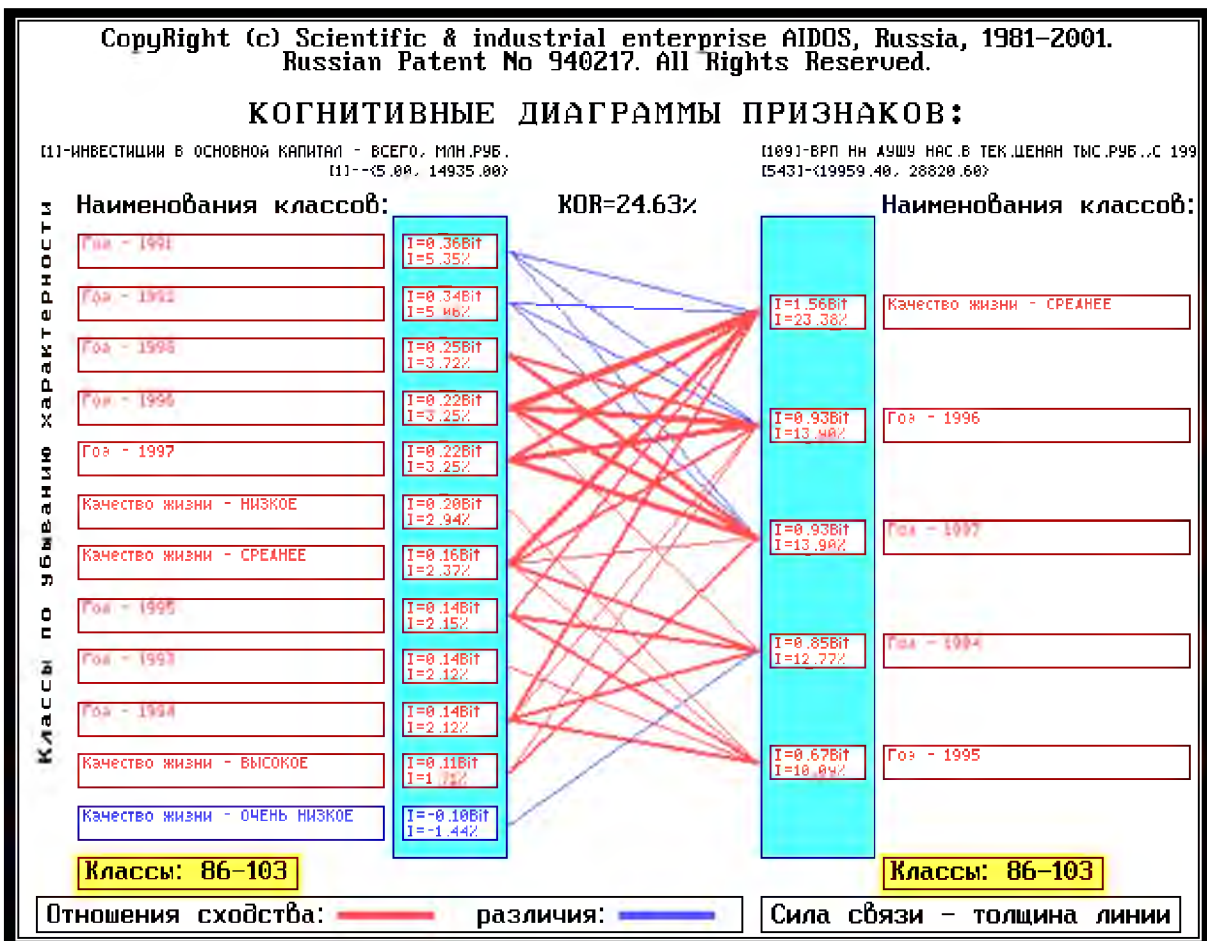


Рисунок 10.16 – Примеры когнитивных диаграмм факторов

В когнитивной диаграмме факторов справа и слева расположены информационные (семантические) портреты факторов, в которых классы распознавания, соответствующие будущим состояниям объекта управления, ранжированы в порядке убывания силы влияния на переход в них объекта управления под действием данного фактора. Если фактор способствует переходу объекта управления в некоторое состояние, то оно будет отображено красным цветом, если препятствует – то синим. Факторы сходны, если вызывают переход объекта управления в сходные состояния, и различны в противном случае. Соответствующие линии связи, вносящие вклад в сходство, отображаются красным цветом, а в различие – синим. Толщина линий связи соответствует их вкладу в сходство или различие. В диаграммах учитываются сходство и различие классов.

### Нелокальные нейроны и интерпретируемые нейронные сети. Многослойная нейросетевая модель влияния инвестиций на качество жизни

Нелокальный нейрон [1] представляет собой будущее состояние объекта управления с изображением наиболее сильно влияющих на него факторов с указанием силы и направления (способствует – препятствует) их воздействию (рисунок 10.17).

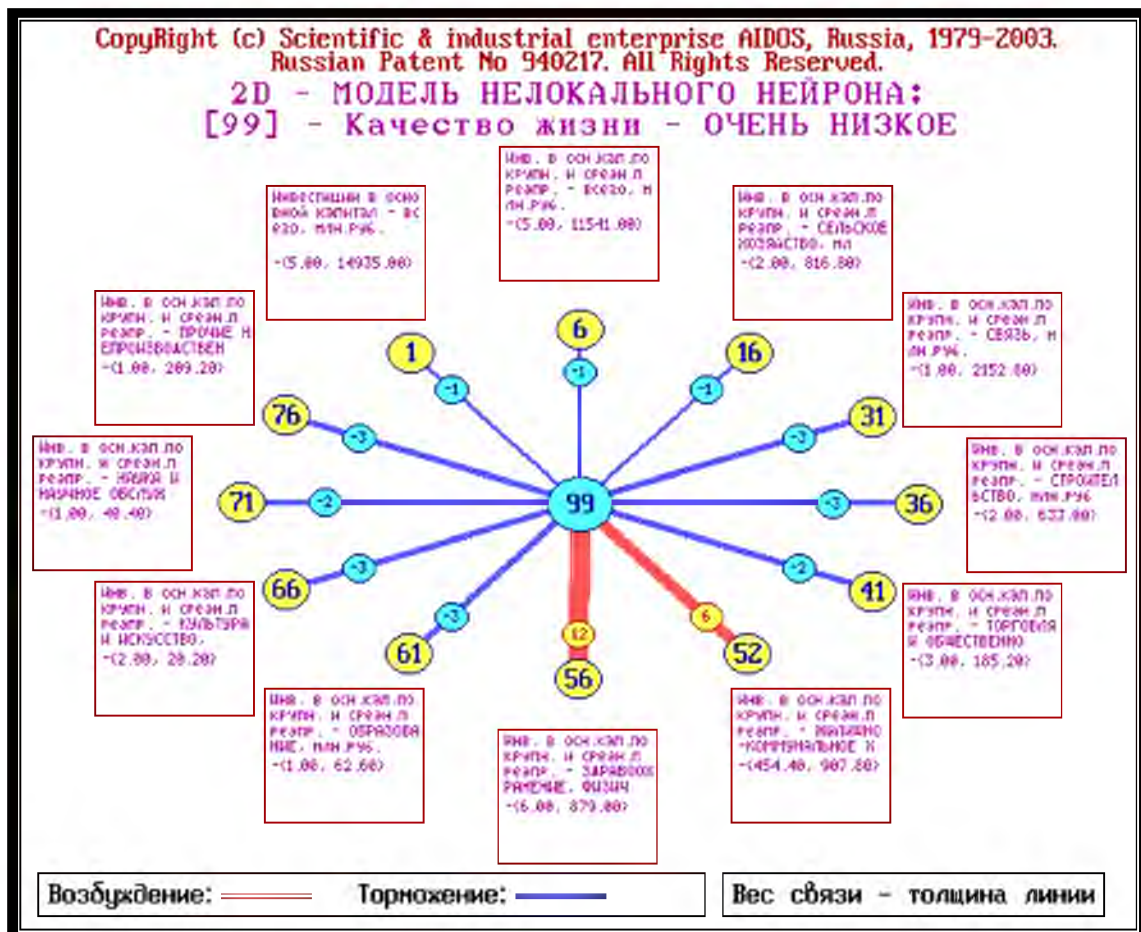


Рисунок 10..17 – Примеры нелокальных нейронов, отражающих влияние инвестиций на уровень качества жизни в регионе (система "Эйдос")


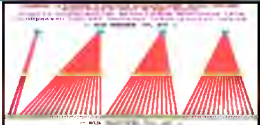




Нейронная сеть представляет собой совокупность взаимосвязанных нейронов. В классических нейронных сетях связь между нейронами осуществляется по входным и выходным сигналам, а в нелокальных нейронных сетях [1] – на основе общего информационного поля. В работе [5] приводится таблица 10.5 с классификацией причинно-следственных связей по рангам. Эта классификация использована для отображения параметров заданий на генерацию и соответствующих фрагментов нейронных сетей (таблица 10.. 2).

Фрагменты нейронной сети со связями 0 уровня опосредованности, т. е. соответствующие смежным слоям многослойной сети, показаны на голубом фоне. В пустых клетках таблицы 2 могут быть отображены фрагменты нейронной сети, аналогичные представленным. Однако новой информации, по сравнению с уже показанными, они не содержат, т. к. практически они образуются из них путем перемены местами нейронов и рецепторов (инвертирования – отражения относительно горизонтальной оси).

Таблица 9 – Виды каузальных связей между объектами различных уровней иерархической модели и соответствующие фрагменты нейронной сети

Факторы	Классы (наименования, коды)
---------	-----------------------------



(наименования, коды)		Уровень качества жизни	Годы	Частные критерии уровня качества жизни
Наименования	Коды	99–103	86–98	1–85
Годы	626–638			
Частные критерии уровня качества жизни	541–625			
Первичные факторы (инвестиции)	1–85			

Сгенерированные по этим заданиям фрагменты нейронной сети приведены в форме, позволяющей составить из них многоуровневую семантическую информационную модель, принципиальная схема которой представлена в работах [4, 5] (таблицы 10.9 – 10.104).

Таблица 10.9 – Фрагменты многоуровневой семантической информационной модели и нейронной сети со связями различной степени опосредованности

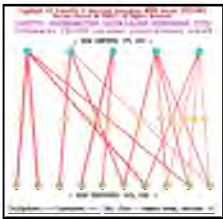
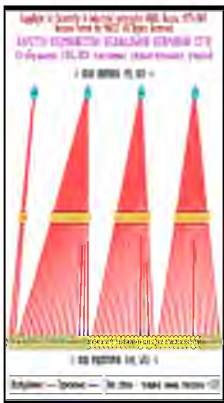
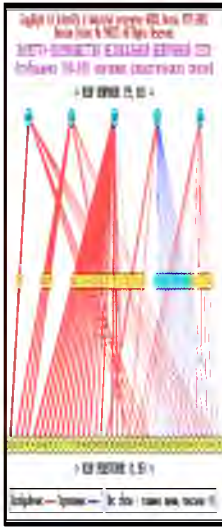
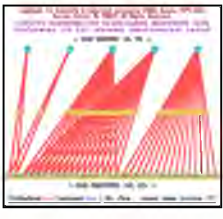
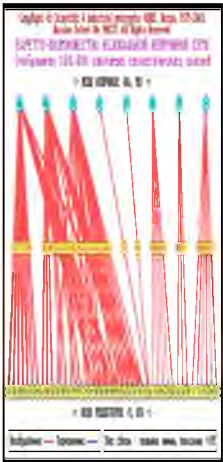
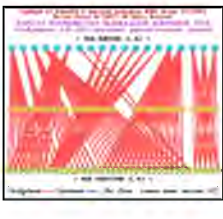
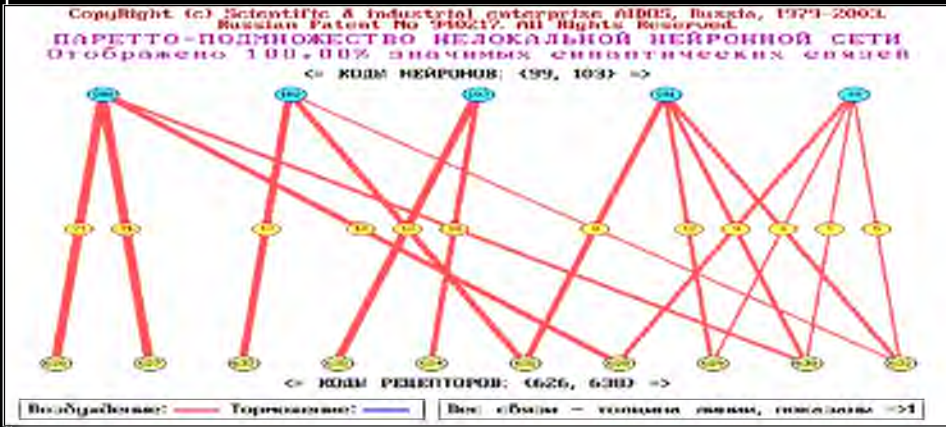
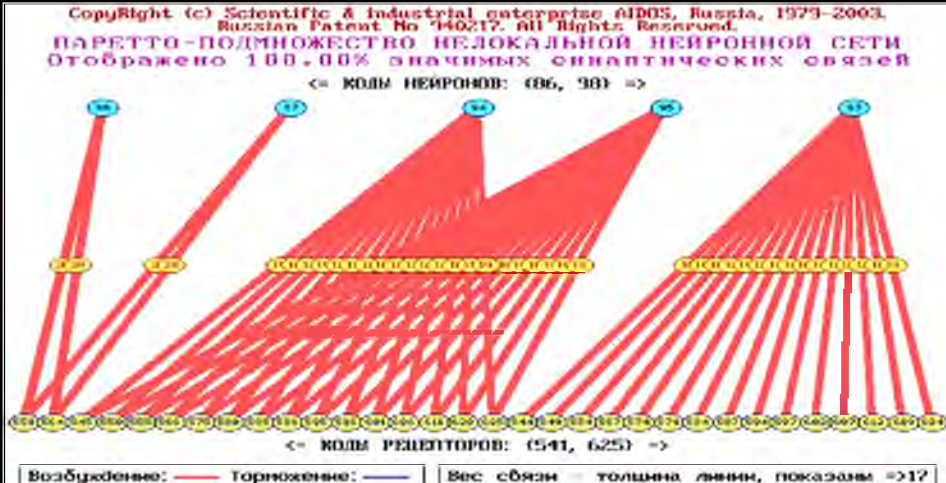
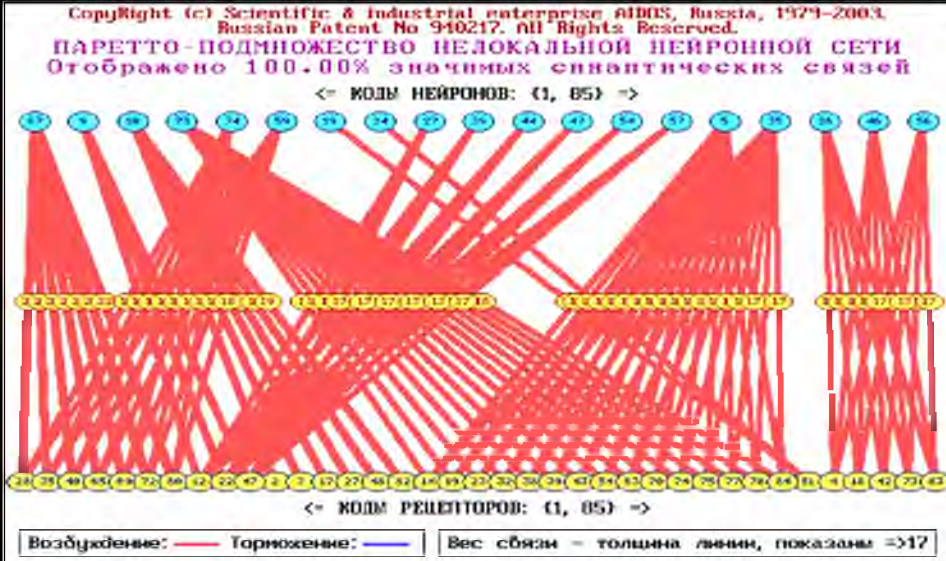
Уровень	Нейронная сеть			
4 Уровни качества жизни (значения интегрального критерия уровня качества жизни)				
3 Годы				
3 Годы				
2 Вторичные факторы (частные критерии уровня качества жизни)				
2 Вторичные факторы (частные критерии уровня качества жизни)				
1 Первичные факторы				

Таблица 10.10 – Фрагменты многоуровневой семантической информационной модели и нейронной сети с непосредственными связями

Уровень	Нейронная сеть	
№	Наименование	

<p>Уровни качества жизни (значения интегрального критерия уровня качества жизни)</p> <p>3</p> <p>Годы</p>	 <p>Copyright (c) Scientific &amp; industrial enterprise AIDOS, Russia, 1979-2003. Russian Patent No 940217. All Rights Reserved.  <b>ПАРЕТТО-ПОДМНОЖЕСТВО НЕЛОКАЛЬНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ</b>  Отображено 100.00% значимых синаптических связей  &lt;= КОДЫ НЕЙРОНОВ: (99, 103) =&gt;  &lt;= КОДЫ РЕЦЕПТОРОВ: (626, 630) =&gt;</p> <p>Возбуждение: — Толщина: — Вес: связи — толщина линии, показаны =&gt;17</p>
<p>3</p> <p>Годы</p> <p>Вторичные факторы (частные критерии уровня качества жизни)</p> <p>2</p>	 <p>Copyright (c) Scientific &amp; industrial enterprise AIDOS, Russia, 1979-2003. Russian Patent No 940217. All Rights Reserved.  <b>ПАРЕТТО-ПОДМНОЖЕСТВО НЕЛОКАЛЬНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ</b>  Отображено 100.00% значимых синаптических связей  &lt;= КОДЫ НЕЙРОНОВ: (86, 98) =&gt;  &lt;= КОДЫ РЕЦЕПТОРОВ: (541, 625) =&gt;</p> <p>Возбуждение: — Толщина: — Вес: связи — толщина линии, показаны =&gt;17</p>
<p>2</p> <p>Годы</p> <p>Вторичные факторы (частные критерии уровня качества жизни)</p> <p>Первичные факторы</p> <p>1</p>	 <p>Copyright (c) Scientific &amp; industrial enterprise AIDOS, Russia, 1979-2003. Russian Patent No 940217. All Rights Reserved.  <b>ПАРЕТТО-ПОДМНОЖЕСТВО НЕЛОКАЛЬНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ</b>  Отображено 100.00% значимых синаптических связей  &lt;= КОДЫ НЕЙРОНОВ: (1, 85) =&gt;  &lt;= КОДЫ РЕЦЕПТОРОВ: (1, 85) =&gt;</p> <p>Возбуждение: — Толщина: — Вес: связи — толщина линии, показаны =&gt;17</p>

Система "Эйдос" обеспечивает построение **любого** подмножества многослойной нейронной сети с заданными или выбираемыми по заданным критериям рецепторами и нейронами, связанными друг с другом связями любого уровня опосредованности.

### Классические когнитивные карты

Классическая когнитивная карта представляет собой нейрон, соответствующий некоторому состоянию объекта управления с рецепторами, каждый из которых соотносится с фактором, в определенной степени



способствующим или препятствующим переходу объекта в это состояние. Рецепторы соединены как с нейроном, так и друг с другом. Связи рецепторов с нейроном отражают силу и направление влияния факторов, а связи рецепторов друг с другом, отображаемые в форме семантической сети факторов, – сходство и различие между рецепторами по характеру их влияния на объект управления. Таким образом, классическая когнитивная карта представляет собой нейрон с семантической сетью факторов, изображенной на одной диаграмме (рисунок 10.11).

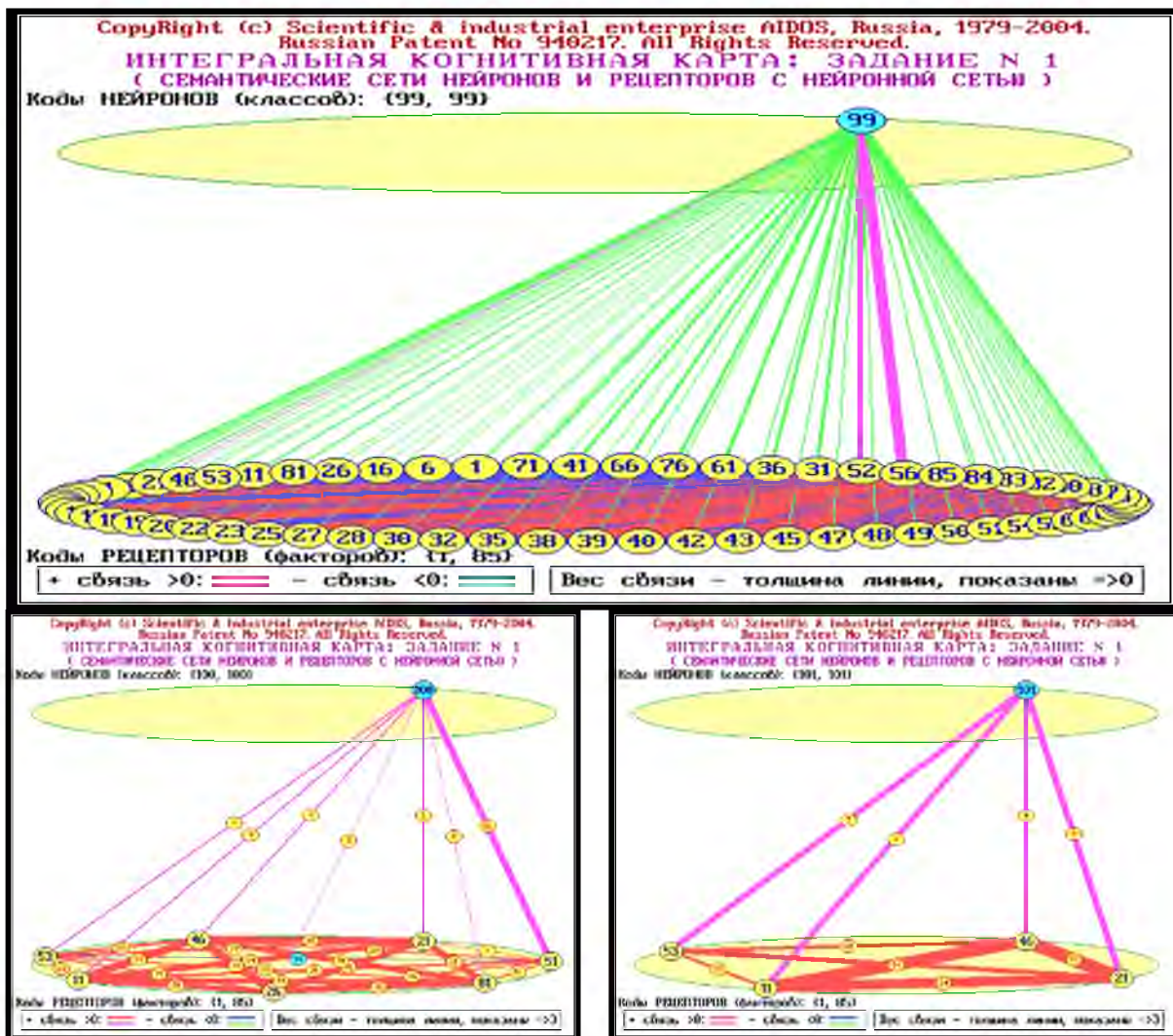


Рисунок 10.11 – Примеры классических когнитивных карт, отражающих влияние структуры инвестиций на уровень качества жизни

### Обобщенные когнитивные карты

Если объединить несколько классических когнитивных карт на одной диаграмме и изобразить на ней также связи между нейронами в форме семантической сети классов, то получим обобщенную (интегральную) когнитивную карту. На рисунке 10.12 приведена обобщенная когнитивная карта, отражающая результаты идентификации лет с помощью интегрального критерия уровня качества жизни, а на рисунке 10.13 – влияние инвестиций на уровень качества жизни.

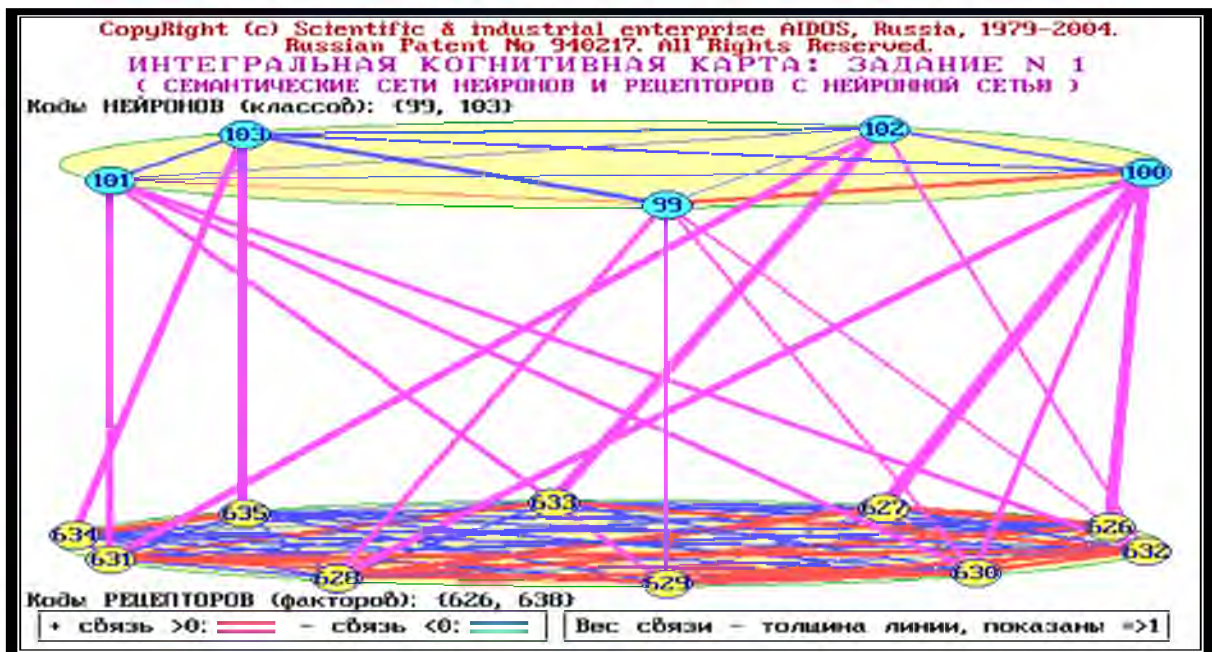


Рисунок 10.12 – Результаты оценки лет с 1991 по 2003 с помощью интегрального критерия уровня качества жизни

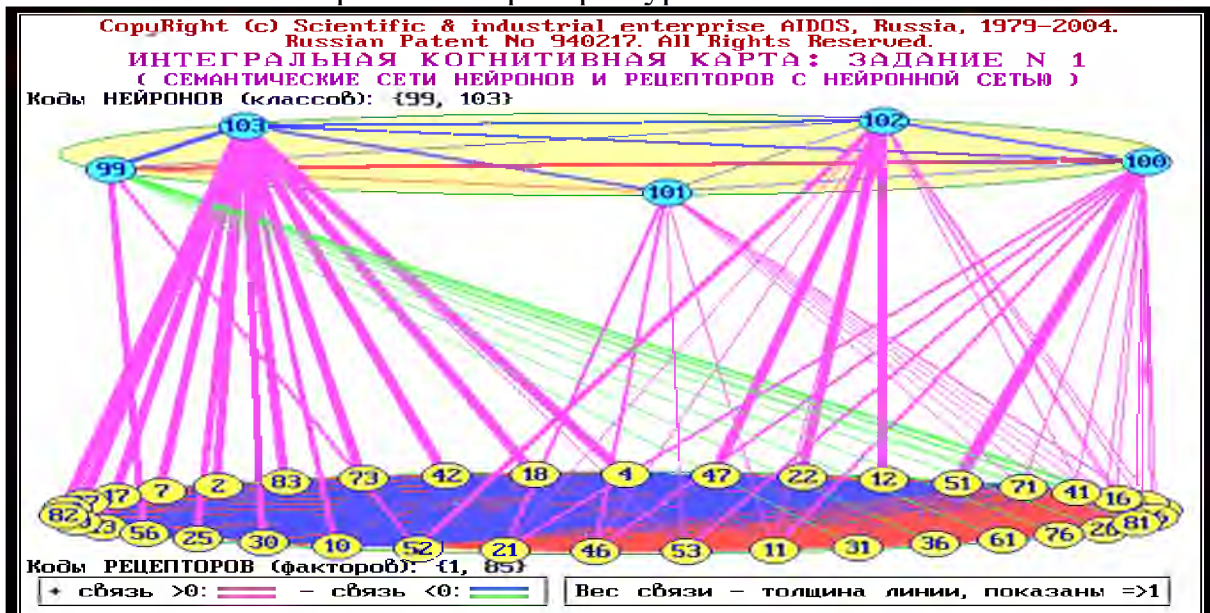


Рисунок 10.13 – Обобщенная (интегральная) когнитивная карта, визуализирующая связи 2-й степени опосредованности МСИМ между структурой инвестиций и уровнем качества жизни

Система "Эйдос" обеспечивает построение любого подмножества многоуровневой семантической информационной модели с заданными или выбираемыми по заданным критериям рецепторами и нейронами, связанными друг с другом отношениями на любом уровне опосредованности в форме классических и обобщенных когнитивных карт. В частности, в системе полуавтоматически формируется задание на генерацию подмножеств обобщенной когнитивной карты, показанных на рисунке 10.13.

Отметим, что в настоящее время система "Эйдос" [1, 7] является единственной **системой искусственного интеллекта (СИИ)**, позволяющей **непосредственно** на основе **эмпирических** данных осуществить синтез



многоуровневой семантической информационной модели предметной области и отображать ее подмодели в графической форме классических и интегральных когнитивных карт (когнитивная графика системы включает более 50 различных видов двумерных и трехмерных форм).

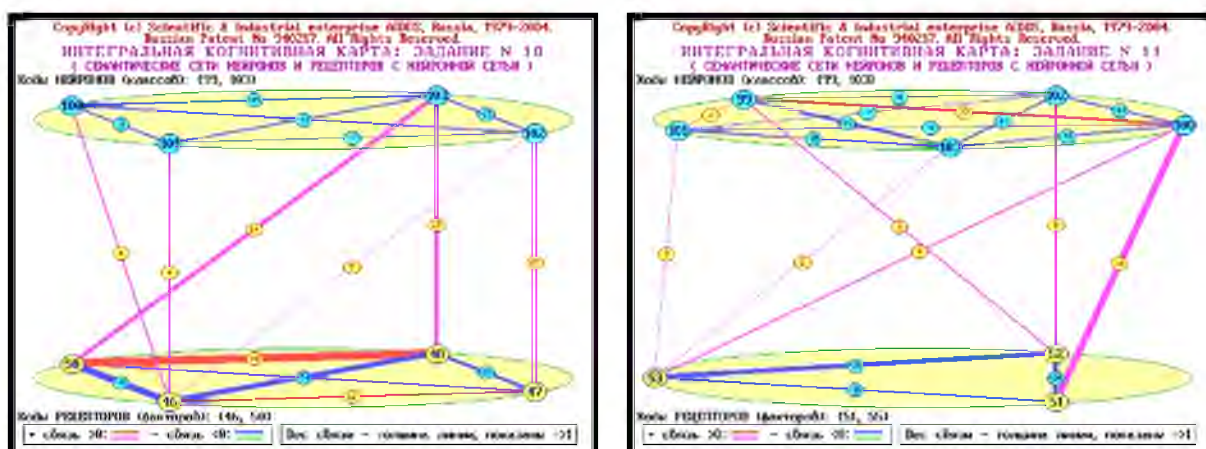


Рисунок 10.14 – Примеры подмножеств интегральной когнитивной карты, отражающие влияние объемов инвестиций по конкретным отраслям на уровень качества жизни населения региона (система "Эйдос")

### Заключение

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность проведения углубленного исследования многоуровневой семантической информационной модели, полученной на основе данных по Краснодарскому краю за 1991–2003 годы.

Данная модель отражает влияние инвестиционной политики, а также развития транспортной инфраструктуры, перерабатывающей промышленности, материально-технического снабжения, состояния различных сегментов рынка, структуры себестоимости продукции и производственных результатов в АПК на качество жизни.

Основные результаты работы состоят в том, что **показана возможность фактического применения предложенного количественного интегрального критерия уровня качества жизни для идентификации лет исследуемого периода и получены функции влияния объемов и направленности инвестиций на уровень качества жизни населения региона.**

Это открывает возможности обоснования рекомендаций по структуре и объемам инвестиций, наиболее эффективно влияющих на повышение уровня качества жизни населения региона.

## **11 Лекция-11. Оперативное управление территориально-распределенным межотраслевым агропромышленным комплексом в период уборки и заготовки сельскохозяйственной продукции<sup>151</sup>**

В период затратной экономики процесс уборки финансировался полностью за счет средств государственного бюджета по факту затрат прошлого года, и это в обще-то всех устраивало. Денег никто не считал, на уборку в район привлекались более тысячи единиц "дарового" и неэффективно работающего автотранспорта, обычно это были военные автотранспортные подразделения. Более того, если фактические затраты на уборку снижались по каким-либо причинам: или в связи с неурожаем и снижением объемов перевозок, или за счет более рациональной организации работ, то это означало, что в будущем году финансирование уборки будет сокращено (или как выражались: "срезано"), что фактически программировало (обуславливало) возникновение в будущем напряженной ситуации. Поэтому объективно руководство района было заинтересовано не только сохранять на прежнем уровне, но даже и повышать затраты на уборку урожая и крайне скептически относилось к различным предложениям ученых по снижению этих затрат. Сами же ученые, также финансируемые за счет государственного бюджета, в свою очередь не получали никакого процента от экономии, полученной за счет внедрения их разработок и работали можно сказать на чистом энтузиазме за не очень высокие и никак не зависящие от результативности из труда зарплаты. В этих условиях действительно нужны были призывы сделать "экономику экономной", но одних подобных призывов, даже на самом высоком уровне, как сейчас уже стало понятно, для этого оказалось явно недостаточно.

Все понимают, что важно не только вырастить хороший урожай, но и в наиболее рациональные сроки и собрать его и заготовить или доставить на перерабатывающие предприятия. Причем сделать это нужно с минимальными издержками, чтобы стоимость этих работ вносила минимальный вклад в себестоимость продукции. Но и в наше время, когда все считают технологически-неоправданные затраты просто убытками, процесс уборки и заготовки урожая проходит крайне нерационально, с огромными затратами энергетических, человеческих, материальных и финансовых ресурсов. Парадоксально, но и сегодня, когда эта ситуация уже не просто никого не устраивает, но и является нетерпимой и совершенно неприемлемой, она все же тем ни менее сохраняется.

---

<sup>151</sup> Бакурадзе Л.А., Луценко Е.В. Теория, технология и практика автоматизации оперативного управления уборочно-заготовительными кампаниями в АПК: Под науч. ред. д.т.н., проф. В.И.Лойко. Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ, 2008. – 518 с. <http://elibrary.ru/download/20634438.pdf>

Таким образом, **проблема**, решаемая в работе, состоит в том, что процесс уборки и заготовки урожая традиционно проходит крайне нерационально, с огромными ничем не оправданными затратами различных видов ресурсов, и это в условиях современной экономики, является совершенно неприемлемым.

Решению этой проблемы посвящены довольно многочисленные научные исследования, публикации и разработки. Поэтому у искушенного читателя может возникнуть закономерный вопрос: "А что собственно нового и дает еще одна 1001-я реализация транспортной задачи?" На этот вопрос ответ прост:

– в данной монографии решение поставленной проблемы рассматривается не в рамках оптимизационной транспортной задачи, которая имеет слишком упрощенную постановку и не отражает сути процессов, происходящих при *уборке и заготовке урожая*, а как задача согласования интересов участников территориально-распределенного межотраслевого комплекса;

– ни одна других разработок, описанных в литературе, не имеет столь убедительного и надежного подтверждения своей высокой эффективности на практике, а значит и правильности принятых при ее создании научных и технических решений, как представленная в данной монографии. Достаточно сказать, что за счет применения авторами этих технологий при проведении 9 (!!!) уборочно-заготовительных компаний зерновых колосовых и сахарной свеклы в различных районах Краснодарского края и Курской области в течение 5 лет получена прямая подтвержденная актами экономия около 150 млн.рублей (в ценах 2008 года).

Однако, не смотря на это, **в реальной практике** оперативного управления процессами уборки и заготовки зерновых колосовых и сахарной свеклы и по сей день фактически ничего не изменилось. Мы видим этому несколько причин, из которых назовем лишь несколько, на наш взгляд наиболее существенных.

**Во-первых**, очень высокая научная **сложность** решаемой проблемы, связанная с ее межотраслевым, комплексным характером, сложнейшим переплетением разноплановых интересов различных групп исполнителей и руководителей участников этого процесса.

**Во-вторых**, пик подобных разработок приходится в основном на 1983-1991 годы, т.е. годы перестройки и распада СССР, когда было мягко говоря **не до них**. Эта же ситуация продолжалась и до дефолта 1998 года и по крайней мере еще 3 года после него.

**В-третьих**, в основе разработок *других авторов* были положены классические оптимизационные транспортные и имитационные модели, которые оказались **малопригодными** для реального решения поставленной проблемы на практике.



**В-четвертых**, за это время сменилось несколько поколений и платформ компьютерной техники, чем обусловлена необходимость программной реализации последовательных версий соответствующих программных систем на разных языках программирования на нескольких платформах, для чего необходима **преемственность** нескольких поколений ученых и разработчиков, т.е. действующие научные школы по автоматизации оперативного управления процессами уборки и заготовки в АПК, *которых просто не было и нет в нашей стране по настоящее время.*

**В-пятых**, решение поставленной проблемы связано с необходимостью решения сложных и масштабных организационных и юридических вопросов, для чего необходима воля первых лиц районов, а лучше регионов, в которых проходит внедрение этой технологии. Но для этого эти первые лица должны хотя бы знать о ее существовании. Однако в настоящее время даже просто сообщить им об этом оказалось практически невозможным, и это не смотря на то, что подобные попытки систематически предпринимаются авторами на протяжении нескольких последних лет (об этом есть информация в приложениях).

Некоторые из этих препятствий были успешно преодолены авторами, результаты чего на сколько это возможно подробно представлены в данной монографии, другие же, будем надеяться, возможно им удастся преодолеть с ее помощью.

В монографии подробно описываются **новые** предложенные авторами **метод** и соответствующая **математическая модель**, обеспечивающие **теоретическое решение** поставленной сложнейшей комплексной проблемы.

Затем **детально** разрабатывается **технология** применения метода **на практике**, включающая:

- **методику** численных расчетов (структуры данных и алгоритмы), реализующую математическую модель;
- **инструментальные средства** (программное обеспечение – ПО), реализующие методику численных расчетов;
- **методику внедрения** и эксплуатации инструментальных средств (ПО) на практике, т.е. **различные виды обеспечения: юридическое, организационное, информационное, кадровое, техническое.**

В настоящее время, по нашему мнению, возникли все экономические условия, при которых предлагаемые в монографии технологии могут быть как восприняты руководством, так и востребованы практиками, т.е. условия, для преодоления 5-е препятствия.

Особенно хотелось бы отметить, что безусловной заслугой основного разработчика описанной в монографии теории и технологии Бакурадзе Л.А. является то, что в условиях распада страны и перехода от плановой экономики к рыночной, в условиях распада научных школ, прекращения существования или деятельности целых научных институтов и коллективов

он сумел не только сохранить ранее созданный научный и практический задел, но и развить и приумножить их, ярким подтверждением чему и является данная монография. За это время им была создана новая математическая модель, непосредственно им, как программистом, а также под его руководством, разработано *три* (!!!) версии реализующего метод и математическую модель программного обеспечения: на платформах PC Wang-2200C (советский аналог: ПЭВМ "Искра-226"), Videoton-2000 (разработчик ПО: О.Ф.Клинков), и, наконец, текущая версия под MS Windows для PC IBM с полноценным GUI-интерфейсом, описанная в монографии, защищенные 2 патентами РФ и документом о научно-техническом достижении, написано 23 научных работы, одна из которых в издании, рекомендуемом ВАК РФ.

В монографии приводятся **результаты** применения метода на практике:

- это и научные результаты и выводы;
- и оценка экономической и иной эффективности (более 4 млн. долларов США в действующих ценах прямой экономии, подтвержденной 9 актами внедрения системы убедительно подтверждают правильность принятых научных и проектных решений);
- и практические рекомендации по применению как самого метода, так и его результатов.

Рассматриваются также ограничения метода и технологии его применения, перспективы их развития.

Таким образом автор является не только теоретиком, внесшим в клад в развитие теории автоматизации оперативного управления в АПК, но и разработчиком программного обеспечения, технологий и методик его применения, который лично руководил 9-ю уборочными компаниями на уборке и заготовке зерновых колосовых и сахарной свеклы в различных районах Краснодарского края и Курской области.

Весь накопленный при выполнении этих работ большой практический опыт является чрезвычайно ценным, что и позволило подготовить этот уникальной в своей предметной области и фундаментальный труд, который безусловно будет интересным и полезным как для студентов и аспирантов, так и для ученых и разработчиков, администраторов и практиков, занимающихся и интересующихся теорией, технологией и практикой автоматизации оперативного управления уборкой и заготовкой зерновых колосовых и сахарной свеклы в АПК на районном и межрайонном (региональном) уровнях.

## 12 Лекция-12. Повышение уровня системности объекта управления как источник эффективности организационных систем управления<sup>152</sup>

При применении АСОУ, описанной в предыдущей лекции, получается значительный прямой экономический эффект, выражающийся в экономии топлива, затраченного на уборку. Эту экономию можно интерпретировать как охлаждение экономической системы за счет сообщения ей информации и соответствующего понижения уровня энтропии, т.е. повышения степени организованности. Это явление можно рассматривать как прямое экспериментальное подтверждение универсального информационного вариационного принципа<sup>153</sup>.

Прямой экономический эффект по факту составил 3-5 руб/т (цены 1984г.), или 4,5-7,5 доллара США/т, или по текущему курсу 2010г. – 135-225руб/т. Таким образом, АСОУ «Урожай» практически обеспечивает участникам реализацию экономических намерений и производственных возможностей, а так же общее повышение эффективности уборки-заготовки за счет рационального использования ресурсов и снижения всех видов затрат.

*Методика оценки качества управления уборкой-заготовкой урожая с применением АСОУ определяет критерии его качества и позволяет рассчитать количественную и качественную меры его организации. Оказание на объект информационных управляющих воздействий, т.е. по сути, сообщение информации объекту управления, приводит к повышению уровня его системности и возрастанию степени организованности, а соответственно, к уменьшению энтропии, «охлаждению» и выделению энергии. В нашем случае это выражается в форме экономии энергоносителей, в т.ч. ГСМ и денежных средств в процессе уборки-заготовки за счет их более рационального использования. Таким образом, количество информации, сообщенной объекту и количество энергии, выделившейся из него в результате повышения уровня его системности и степени организованности, взаимосвязаны. Путем обобщения данных девяти промышленных внедрений АСОУ «Урожай» определены количественные и качественная меры этой взаимосвязи.*

---

<sup>152</sup> Луценко Е.В. Количественная оценка уровня системности на основе меры информации К. Шеннона (конструирование коэффициента эмерджентности Шеннона) / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №05(079). С. 249 – 304. – IDA [article ID]: 0791205018. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/05/pdf/18.pdf>. 3,5 у.п.л.

Бакурадзе Л.А. Математические модели, инструментарии и методики совершенствования оперативного управления уборочно-заготовительными кампаниями в АПК / Л.А. Бакурадзе // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – №04(058). С. 25 – 51. – Шифр Информрегистра: 0421000012\0070, IDA [article ID]: 0581004003. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/04/pdf/03.pdf>. 1,688 у.п.л.

<sup>153</sup> Луценко Е.В. Универсальный информационный вариационный принцип развития систем / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2008. – №07(041). С. 117 – 193. – Шифр Информрегистра: 0420800012\0091, IDA [article ID]: 0410807010. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2008/07/pdf/10.pdf>. 4,812 у.п.л.

### Количественные меры.

1). **Киэт** (Ккал/Кб) - коэффициент информационно-энергетической трансформации.

Это это отношение количества энергии  $E$  (Ккал), выделившейся из объекта управления к количеству информации, сообщенной ему АСУ (выходная)  $V_{си}$  (Кб).

где:  $K_{тс}$  – коэффициент теплотворной способности ГСМ (Ккал/т);

$P_{гсм}$  – количество сэкономленных ГСМ (т);

$$Киэт = E / V_{си} \quad - \quad E = K_{тс} * P_{гсм} \quad (Ккал) \quad (2.30)$$

(Ккал/Кб),

2). **Кифт** (Ккал/Кб) - коэффициент информационно-финансовой трансформации. Он определяется как отношение стоимости  $\mathcal{E}$  (руб) сэкономленных ГСМ к количеству информации  $V_{си}$  (Кб), сообщаемое АСУ объекту управления

где:  $C_{гсм}$  – стоимость 1т ГСМ (руб/т):

$$Кифт = \mathcal{E} / V_{си} \quad (Руб/Кб) \quad \mathcal{E} = P_{гсм} * C_{гсм} \quad (Руб) \quad (2.31)$$

Качественная мера. Коэффициент генерации информации  $K_{ген}$  является отношением кол-ва информации сообщаемое АСУ объекту управления (выходная)  $V_{си}$  (Кб) к кол-во информации, получаемое АСУ от него (входная)  $V_{ни}$  (Кб):

$$K_{ген} = V_{си} / V_{ни} \quad (2.32)$$

Для АСОУ «Урожай»:  $Киэт$  (Ккал/Кб) = 2674,3;

$Кифт$ , (Руб/Кб) = 200;

$K_{ген}$  = 104.

