

УДК 004.8

**Автоматизированный системно-когнитивный анализ влияния различных характеристик звезд на их спектральный класс**

Луценко Евгений Вениаминович

д.э.н., к.т.н., профессор

Scopus Author ID: 57188763047

РИНЦ SPIN-код: 9523-7101

[prof.lutsenko@gmail.com](mailto:prof.lutsenko@gmail.com) <http://lc.kubagro.ru>

*Гилязова Луиза Маратовна – студент Кубанского ГАУ факультета Прикладной информатики*

*Группа: ИТ1903*

*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т.Трубилина, Краснодар, Россия*

Целью данной работы является изучение и сравнение различных характеристик самых ярких звезд

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИСТЕМНО-КОГНИТИВНЫЙ АНАЛИЗ, АСК-АНАЛИЗ, СИСТЕМА «ЭЙДОС», ЗВЕЗДЫ

UDC 004.8

**Automated system-cognitive analysis of the influence of various characteristics of stars on their spectral class**

Lutsenko Evgeniy Veniaminovich

Dr.Sci.Econ., Cand.Tech.Sci., professor

Scopus Author ID: 57188763047

RSCI SPIN-code: 9523-7101

[prof.lutsenko@gmail.com](mailto:prof.lutsenko@gmail.com) <http://lc.kubagro.ru>

*Gilyazova Louise Maratovna – KUBSAU student, Faculty: Applied Informatics,*

*Group: IT1903*

*Kuban State Agrarian University named after I.T.Trubilin, Krasnodar, Russia*

The aim of this work is to studying and contrasting various characteristics of the brightest stars.

Keywords: AUTOMATED SYSTEM-COGNITIVE ANALYSIS, ASC-ANALYSIS, "EIDOS" SYSTEM, STARS

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>                                                                                                                                       | <b>2</b>  |
| <b>ЗАДАЧА 1: КОГНИТИВНАЯ СТРУКТУРИЗАЦИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ.....</b>                                                                                         | <b>5</b>  |
| <b>ЗАДАЧА 2: ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ .....</b>                                                                         | <b>5</b>  |
| <b>ЗАДАЧА 3: СИНТЕЗ И ВЕРИФИКАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ И СИСТЕМНО-КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ И ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ДОСТОВЕРНОЙ ИЗ НИХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ .....</b>             | <b>10</b> |
| <b>ЗАДАЧА 4: РЕШЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ЗАДАЧ В НАИБОЛЕЕ ДОСТОВЕРНОЙ МОДЕЛИ.....</b>                                                                                 | <b>17</b> |
| Подзадача 4.1. Прогнозирование (диагностика, классификация, распознавание, идентификация).....                                                              | 17        |
| Подзадача 4.2. Поддержка принятия решений (SWOT-АНАЛИЗ) .....                                                                                               | 19        |
| Подзадача 4.3. Исследование моделируемой предметной области путем исследования ее модели .....                                                              | 24        |
| 4.3.1. Когнитивные диаграммы классов .....                                                                                                                  | 24        |
| 4.3.2. Агломеративная когнитивная кластеризация классов .....                                                                                               | 26        |
| 4.3.3. Когнитивные диаграммы значений факторов.....                                                                                                         | 27        |
| 4.3.4. Агломеративная когнитивная кластеризация значений факторов.....                                                                                      | 29        |
| 4.3.5. Нелокальные нейроны и нелокальные нейронные сети .....                                                                                               | 30        |
| 4.3.6. 3d-интегральные когнитивные карты .....                                                                                                              | 32        |
| 4.3.7. Когнитивные функции .....                                                                                                                            | 32        |
| 4.3.8. Сила и направление влияния значений характеристик и сила влияния самих характеристик на результаты принадлежности к типу и спектральному классу..... | 35        |
| 4.3.9. Степень детерминированности принадлежности звезды к типу и спектральному классу значениями .....                                                     | 38        |
| 4.3.10. Устойчивость результатов принадлежности к типу и спектральному классу от значений обуславливающих их различных признаков.....                       | 39        |
| <b>7. ВЫВОДЫ.....</b>                                                                                                                                       | <b>45</b> |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>                                                                                                                              | <b>45</b> |

## Введение

Целью данной работы является построение интеллектуальной модели для решения задач, связанных с распознаванием принадлежности звезды к определенному спектральному классу и типу путем изучения и сравнения его различных характеристик.

Данная модель не имеет строгого практического применения и лишь служит примером, демонстрирующим основные возможности автоматизированного системно-когнитивного анализа

Для достижения этой цели необходимо решить следующие **задачи**, которые получаются путем декомпозиции цели и являются этапами ее достижения:

Задача 1: когнитивная структуризация предметной области.

Задача 2: подготовка исходных данных и формализация предметной области.

Задача 3: синтез и верификация статистических и системно-когнитивных моделей и выбор наиболее достоверной модели.

Задача 4: решение различных задач в наиболее достоверной модели:

- подзадача 4.1. Прогнозирование (диагностика, классификация, распознавание, идентификация);
- подзадача 4.2. Поддержка принятия решений;
- подзадача 4.3. Исследование моделируемой предметной области путем исследования ее модели (когнитивные диаграммы классов и значений факторов, агломеративная когнитивная кластеризация классов и значений факторов, нелокальные нейроны и нейронные сети, 3d-интегральные когнитивные карты, когнитивные функции).

Эти задачи по сути представляют собой **этапы** Автоматизированного системно-когнитивный анализа (АСК-анализ), который и поэтому и предлагается применить для их решения.

АСК-анализ представляет собой метод искусственного интеллекта, разработанный проф. Е.В. Луценко в 2002 году для решения широкого класса задач идентификации, прогнозирования, классификации, диагностики, поддержки принятия решений и исследования моделируемой предметной области путем исследования ее модели. АСК-анализ доведен до **инновационного** уровня благодаря тому, что имеет свой программный инструментарий – универсальную когнитивную аналитическую систему «Эйдос-Х++» (система «Эйдос») [1].

**Система «Эйдос»** выгодно отличается от других интеллектуальных систем следующими параметрами:

- разработана в универсальной постановке, не зависящей от предметной области. Поэтому она является универсальной и может быть применена во многих предметных областях (<http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>);

- находится в полном открытом бесплатном доступе (<http://lc.kubagro.ru/aidos/Aidos-X.htm>), причем с актуальными исходными текстами (<http://lc.kubagro.ru/AIDOS-X.txt>);

- является одной из первых отечественных систем искусственного интеллекта персонального уровня, т.е. она не требует от пользователя специальной подготовки в области технологий искусственного интеллекта (есть акт внедрения системы «Эйдос» 1987 года) (<http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos02/PR-4.htm>);

- обеспечивает устойчивое выявление в сопоставимой форме силы и направления причинно-следственных зависимостей в неполных зашумленных взаимозависимых (нелинейных) данных очень большой размерности числовой и не числовой природы, измеряемых в различных типах шкал (номинальных, порядковых и числовых) и в различных единицах измерения (т.е. не предъявляет жестких требований к данным, которые невозможно выполнить, а обрабатывает те данные, которые есть);

- содержит большое количество локальных (поставляемых с инсталляцией) и облачных учебных и научных приложений (в настоящее время их 31 и 178, соответственно) ([http://lc.kubagro.ru/aidos/Presentation\\_Aidos-online.pdf](http://lc.kubagro.ru/aidos/Presentation_Aidos-online.pdf));

- обеспечивает мультиязычную поддержку интерфейса на 44 языках. Языковые базы входят в инсталляцию и могут пополняться в автоматическом режиме;

- поддерживает on-line среду накопления знаний и широко используется во всем мире (<http://aidos.byethost5.com/map5.php>);

- наиболее трудоемкие в вычислительном отношении операции синтеза моделей и распознавания реализует с помощью графического процессора (GPU), что на некоторых задачах обеспечивает ускорение решения этих задач в несколько тысяч раз, что реально обеспечивает интеллектуальную обработку больших данных, большой информации и больших знаний;

- обеспечивает преобразование исходных эмпирических данных в информацию, а ее в знания и решение с использованием этих знаний задач классификации, поддержки принятия решений и исследования предметной

области путем исследования ее системно-когнитивной модели, генерируя при этом очень большое количество табличных и графических выходных форм (развития когнитивная графика), у многих из которых нет никаких аналогов в других системах (примеры форм можно посмотреть в работе: [http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos18\\_LLS/aidos18\\_LLS.pdf](http://lc.kubagro.ru/aidos/aidos18_LLS/aidos18_LLS.pdf));

- хорошо имитирует человеческий стиль мышления: дает результаты анализа, понятные экспертам на основе их опыта, интуиции и профессиональной компетенции.

Всем этим и обусловлен выбор АСК-анализа и его программного инструментария – интеллектуальной системы «Эйдос» в качестве метода и инструмента решения поставленной проблемы (рисунок 1).

Последовательность обработки данных, информации и знаний в системе «Эйдос-Х++»

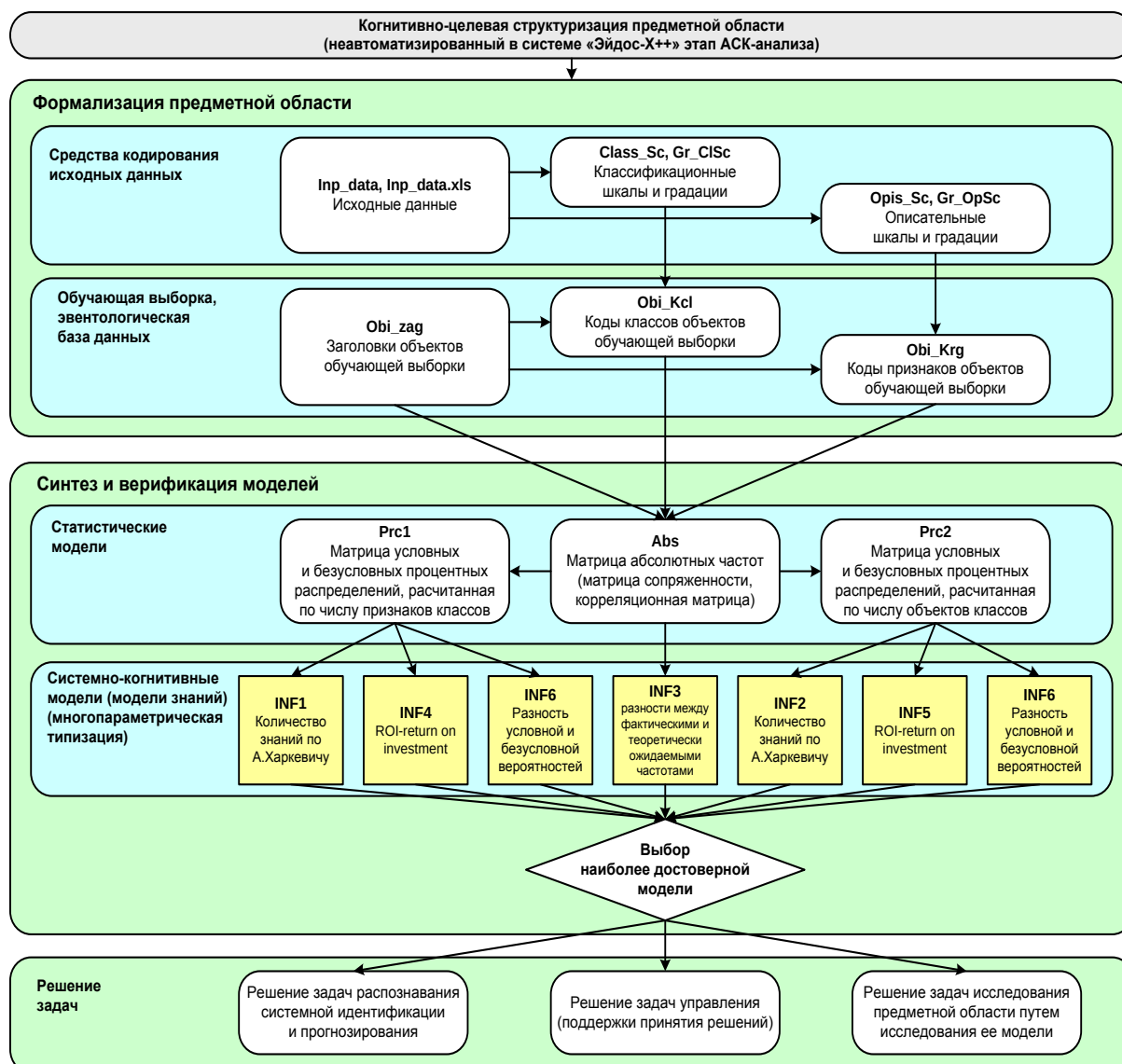


Рисунок 1. Последовательность решения задач в АСК-анализе и системе «Эйдос»

Рассмотрим решение поставленных задач в численном примере.

### **Задача 1: когнитивная структуризация предметной области**

На этапе когнитивно-целевой структуризации предметной области мы неформализуемым путем решаем на качественном уровне, что будем рассматривать в качестве факторов, действующих на моделируемый объект (причин), а что в качестве результатов действия этих факторов (последствий).

При этом необходимо отметить, что системно-когнитивные модели (СК-модели) отражают лишь сам факт наличия зависимостей между значениями факторов и результатами их действия. Но они не отражают причин и механизмов такого влияния. Это значит, что содержательная интерпретация СК-моделей – это компетенция специалистов-экспертов хорошо разбирающихся в данной предметной области. Иногда встречается ситуация, когда и то, что на первый взгляд является причинами, и то, что казалось бы является их последствиями, на самом деле является последствиями неких глубинных причин, которых мы не видим и никоим образом непосредственно не отражаем в модели.

В данной работе в качестве классификационных шкал выберем тип и спектральный класс (таблица 1), а в качестве факторов, влияющих на эти результаты – различные характеристики звезды (таблица 2):

Таблица 1 – Классификационные шкалы

| Код | Наименование       |
|-----|--------------------|
| 1   | Тип                |
| 2   | Спектральный класс |

Таблица 2 – Описательные шкалы

| Код | Наименование        |
|-----|---------------------|
| 1   | Температура, К      |
| 2   | Масса, М            |
| 3   | Радиус, R           |
| 4   | Видимая величина    |
| 5   | Абсолютная величина |
| 6   | Цвет                |

### **Задача 2: подготовка исходных данных и формализация предметной области**

Исходные данные для данной статьи (таблица 3) взяты из сайта <https://spaceyou.ru/>:

Таблица 3 – Фрагмент исходных данных

| Звезда  | Тип                               | Спектральный класс | Температура, К | Масса, М | Радиус, R |
|---------|-----------------------------------|--------------------|----------------|----------|-----------|
| Сириус  | Звезда главной последовательности | A                  | 9940           | 2        | 1,7       |
| Канопус | Сверхгигант                       | F                  | 7350           | 9        | 65        |
| Толиман | Карлик                            | G                  | 5750           | 1,1      | 1,227     |
| Арктур  | Гигант                            | K                  | 4300           | 1        | 25,7      |

(Файл с полными исходными данными располагается по пути: “Aidos-X\AID\_DATA\Inp\_data\Inp\_data.xls”)

Затем с параметрами, показанными на рисунке 2, запустим режим 2.3.2.2 системы «Эйдос», представляющий собой автоматизированный программный интерфейс (API) с внешними данными табличного типа. На рисунке 2 приведены реально использованные параметры.

2.3.2.2. Универсальный программный интерфейс импорта данных в систему "ЭЙДОС-X++"

Автоматическая формализация предметной области: генерация классификационных и описательных шкал и градаций, а также обучающей и распознаваемой выборки на основе базы исходных данных: "Inp\_data"

Задайте тип файла исходных данных: "Inp\_data":

☐ XLS - MS Excel-2003      Стандарт XLS-файла

☒ XLSX - MS Excel-2007(2010)      Стандарт XLS-файла

☐ DBF - DBASE IV (DBF/NTX)      Стандарт DBF-файла

☐ CSV - Comma-Separated Values      Стандарт CSV-файла

Задайте параметры:

☒ Нули и пробелы считать ОТСУТСТВИЕМ данных

☐ Нули и пробелы считать ЗНАЧЕНИЯМИ данных

☐ Создавать БД средних по классам "Inp\_davr.dbf"?

Требования к файлу исходных данных

Задайте диапазон столбцов классификационных шкал:

Начальный столбец классификационных шкал:

Конечный столбец классификационных шкал:

Задайте диапазон столбцов описательных шкал:

Начальный столбец описательных шкал:

Конечный столбец описательных шкал:

Задайте режим:

☒ Формализации предметной области (на основе "Inp\_data")

☐ Генерации распознаваемой выборки (на основе "Inp\_rasp")

Задайте способ выбора размера интервалов:

☒ Равные интервалы с разным числом наблюдений

☐ Разные интервалы с равным числом наблюдений

Задание параметров формирования сценариев или способа интерпретации текстовых полей "Inp\_data":

☒ Не применять сценарный метод АСК-анализа

☐ Применить сценарный метод АСК-анализа

☐ Применить спец. интерпретацию текстовых полей классов

☐ Применить спец. интерпретацию текстовых полей признаков

**Параметры интерпретации значений текстовых полей "Inp\_data":**

Интерпретация TXT-полей классов:

Значения полей текстовых классификационных шкал файла исходных данных "Inp\_data" рассматриваются как целое

Интерпретация TXT-полей признаков:

Значения полей текстовых описательных шкал файла исходных данных "Inp\_data" рассматриваются как целое

Ok      Cancel

2.3.2.2. Задание размерности модели системы "ЭЙДОС-X++"

ЗАДАНИЕ В ДИАЛОГЕ РАЗМЕРНОСТИ МОДЕЛИ

Суммарное количество градаций классификационных и описательных шкал: [11 x 63]

| Тип шкалы | Количество классификационных шкал | Количество градаций классификационных | Среднее количество градаций на класс. шкалу | Количество описательных шкал | Количество градаций описательных шкал | Среднее количество градаций на опис. шкалу |
|-----------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|
| Числовые  | 0                                 | 0                                     | 0,00                                        | 4                            | 40                                    | 10,00                                      |
| Текстовые | 2                                 | 11                                    | 5,50                                        | 2                            | 23                                    | 11,50                                      |
| ВСЕГО:    | 2                                 | 11                                    | 5,50                                        | 6                            | 63                                    | 10,50                                      |

Задайте число интервалов (градаций) в шкале:

В описательных шкалах:

Пересчитать шкалы и градации      Выйти на создание модели

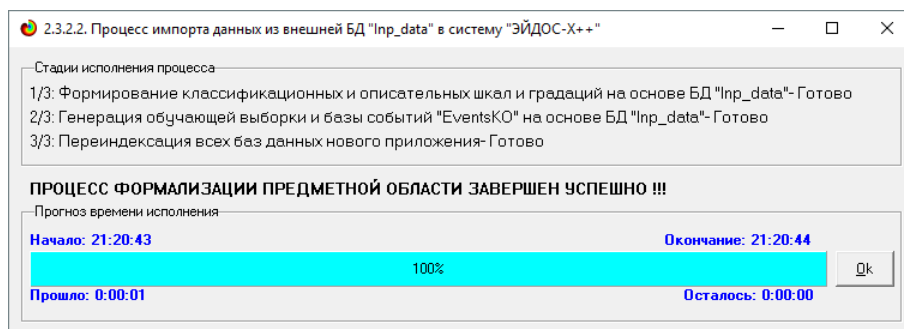


Рисунок 2. Экранная форма программного интерфейса (API) 2.3.2.2 системы «Эйдос» с внешними данными табличного типа<sup>1</sup>

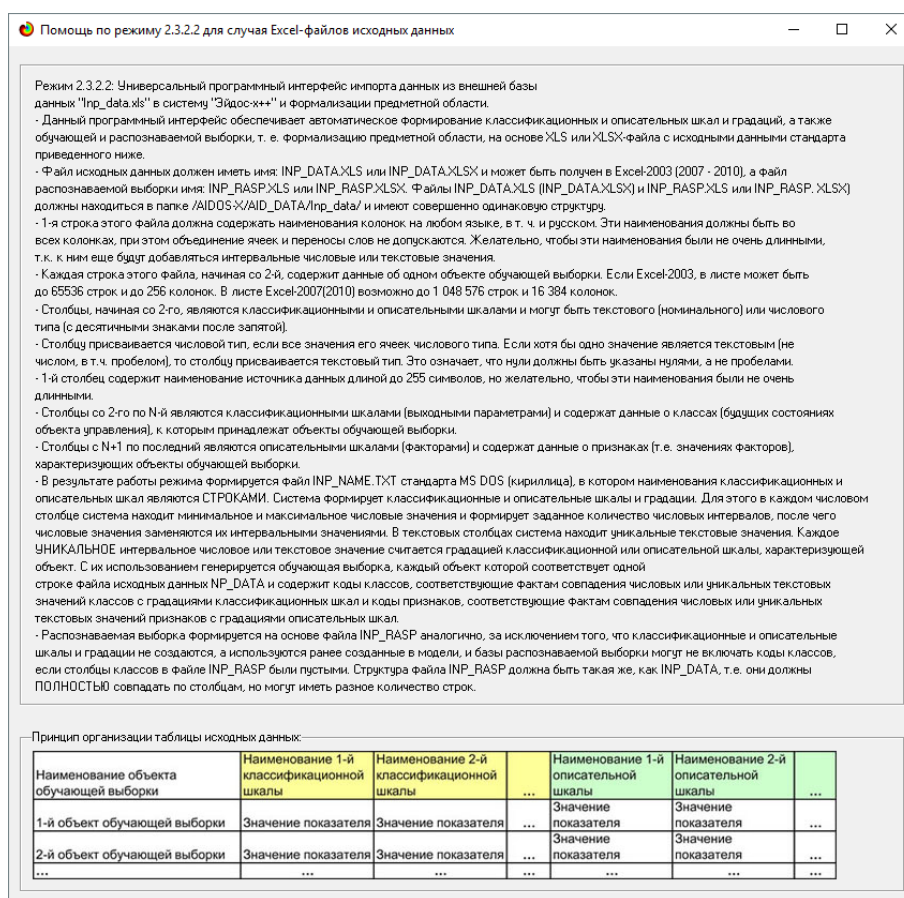


Рисунок 3. Экранная форма HELP программного интерфейса (API) 2.3.2.2

В результате работы режима сформировано 2 классификационных шкалы с суммарным количеством градаций (классов) 11 (таблица 4) и 6 описательных шкал с суммарным числом градаций 63. С использованием классификационных и описательных шкал и градаций (таблицы 4 и 5) исходные данные (таблица 3) были закодированы и в результате получена обучающая выборка (таблица 6):

<sup>1</sup> Все рисунки в статье приведены с достаточно высоким разрешением и при увеличении масштаба просмотра вполне читабельны

Таблица 4 – Классификационные шкалы и градации  
(тип и спектральный класс)

| Код | Наименование                          |
|-----|---------------------------------------|
| 1   | ТИП-Гигант                            |
| 2   | ТИП-Звезда главной последовательности |
| 3   | ТИП-Карлик                            |
| 4   | ТИП-Переменная                        |
| 5   | ТИП-Сверхгигант                       |
| 6   | СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС-A                  |
| 7   | СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС-B                  |
| 8   | СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС-F                  |
| 9   | СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС-G                  |
| 10  | СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС-K                  |
| 11  | СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС-M                  |

Таблица 5 – Описательные шкалы и градации  
(различные характеристики звезд)

| Код | Наименование                                        |
|-----|-----------------------------------------------------|
| 1   | ТЕМПЕРАТУРА, К-1/10-{3400.0000000, 3600.0000000}    |
| 2   | ТЕМПЕРАТУРА, К-2/10-{3600.0000000, 4300.0000000}    |
| 3   | ТЕМПЕРАТУРА, К-3/10-{4300.0000000, 4940.0000000}    |
| 4   | ТЕМПЕРАТУРА, К-4/10-{4940.0000000, 6600.0000000}    |
| 5   | ТЕМПЕРАТУРА, К-5/10-{6600.0000000, 8000.0000000}    |
| 6   | ТЕМПЕРАТУРА, К-6/10-{8000.0000000, 8550.0000000}    |
| 7   | ТЕМПЕРАТУРА, К-7/10-{8550.0000000, 9940.0000000}    |
| 8   | ТЕМПЕРАТУРА, К-8/10-{9940.0000000, 10300.0000000}   |
| 9   | ТЕМПЕРАТУРА, К-9/10-{10300.0000000, 22400.0000000}  |
| 10  | ТЕМПЕРАТУРА, К-10/10-{22400.0000000, 28000.0000000} |
| 11  | МАССА, М-1/10-{1.0000000, 1.1000000}                |
| 12  | МАССА, М-2/10-{1.1000000, 1.5000000}                |
| 13  | МАССА, М-3/10-{1.5000000, 1.7000000}                |
| 14  | МАССА, М-4/10-{1.7000000, 2.0000000}                |
| 15  | МАССА, М-5/10-{2.0000000, 2.5000000}                |
| 16  | МАССА, М-6/10-{2.5000000, 3.5000000}                |
| 17  | МАССА, М-7/10-{3.5000000, 9.0000000}                |
| 18  | МАССА, М-8/10-{9.0000000, 11.0000000}               |
| 19  | МАССА, М-9/10-{11.0000000, 14.0000000}              |
| 20  | МАССА, М-10/10-{14.0000000, 21.0000000}             |
| 21  | РАДИУС, R-1/18-                                     |
| 22  | РАДИУС, R-2/18-1.2270000                            |
| 23  | РАДИУС, R-3/18-1.7000000                            |
| 24  | РАДИУС, R-4/18-1.8000000                            |
| 25  | РАДИУС, R-5/18-1.8500000                            |
| 26  | РАДИУС, R-6/18-2.8000000                            |
| 27  | РАДИУС, R-7/18-3.1500000                            |
| 28  | РАДИУС, R-8/18-7.3000000                            |
| 29  | РАДИУС, R-9/18-7.8000000                            |
| 30  | РАДИУС, R-10/18-8.0000000                           |
| 31  | РАДИУС, R-11/18-12.2000000                          |
| 32  | РАДИУС, R-12/18-25.7000000                          |
| 33  | РАДИУС, R-13/18-43.0000000                          |
| 34  | РАДИУС, R-14/18-65.0000000                          |
| 35  | РАДИУС, R-15/18-74.0000000                          |
| 36  | РАДИУС, R-16/18-210.0000000                         |
| 37  | РАДИУС, R-17/18-400.0000000                         |
| 38  | РАДИУС, R-18/18-950.0000000                         |
| 39  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-1/10-{-1.4600000, -0.7200000}      |
| 40  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-2/10-{-0.7200000, -0.0400000}      |
| 41  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-3/10-{-0.0400000, 0.0800000}       |
| 42  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-4/10-{0.0800000, 0.3800000}        |
| 43  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-5/10-{0.3800000, 0.5000000}        |
| 44  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-6/10-{0.5000000, 0.7700000}        |
| 45  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-7/10-{0.7700000, 0.8500000}        |
| 46  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-8/10-{0.8500000, 0.9800000}        |
| 47  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-9/10-{0.9800000, 1.1600000}        |
| 48  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-10/10-{1.1600000, 1.3500000}       |
| 49  | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-1/10-{-7.2000000, -7.0000000}   |
| 50  | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-2/10-{-7.0000000, -5.2000000}   |



|    |                                                   |
|----|---------------------------------------------------|
| 51 | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-3/10-{-5.2000000, -4.6000000} |
| 52 | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-4/10-{-4.6000000, -3.2000000} |
| 53 | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-5/10-{-3.2000000, -0.5000000} |
| 54 | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-6/10-{-0.5000000, -0.3000000} |
| 55 | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-7/10-{-0.3000000, 0.6000000}  |
| 56 | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-8/10-{0.6000000, 1.4000000}   |
| 57 | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-9/10-{1.4000000, 2.2000000}   |
| 58 | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-10/10-{2.2000000, 4.0600000}  |
| 59 | ЦВЕТ- Белый                                       |
| 60 | ЦВЕТ- Голубой                                     |
| 61 | ЦВЕТ- Желтый                                      |
| 62 | ЦВЕТ- Красный                                     |
| 63 | ЦВЕТ- Оранжевый                                   |

Таблица 6 – Обучающая выборка

| Наименование | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | N8 | N9 |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Сириус       | 2  | 6  | 7  | 14 | 23 | 39 | 56 | 59 |
| Канопус      | 5  | 8  | 5  | 17 | 34 | 39 | 50 | 61 |
| Толиман      | 3  | 9  | 4  | 11 | 22 | 40 | 58 | 61 |
| Арктур       | 1  | 10 | 2  | 11 | 32 | 40 | 54 | 63 |
| Вега         | 2  | 6  | 7  | 15 | 26 | 41 | 55 | 59 |
| Капелла      | 1  | 9  | 3  | 16 | 31 | 41 | 53 | 61 |
| Ригель       | 5  | 7  | 9  | 20 | 35 | 42 | 49 | 60 |
| Процион      | 2  | 8  | 4  | 12 | 24 | 42 | 58 | 61 |
| Ахернар      | 2  | 7  | 8  | 17 | 28 | 43 | 53 | 60 |
| Бетельгейзе  | 5  | 11 | 1  | 12 | 38 | 43 | 51 | 62 |
| Хадар        | 1  | 7  | 10 | 18 | 21 | 44 | 52 | 60 |
| Альтаир      | 2  | 6  | 5  | 13 | 23 | 44 | 57 | 59 |
| Акрукс       | 2  | 7  | 10 | 19 | 21 | 45 | 51 | 60 |
| Альдебаран   | 1  | 10 | 2  | 15 | 33 | 45 | 54 | 63 |
| Антарес      | 5  | 11 | 1  | 19 | 37 | 46 | 50 | 62 |
| Спика        | 4  | 7  | 9  | 18 | 29 | 46 | 52 | 60 |
| Поллукс      | 1  | 10 | 3  | 13 | 30 | 47 | 56 | 63 |
| Фомальгаут   | 2  | 6  | 6  | 14 | 25 | 47 | 57 | 59 |
| Денеб        | 5  | 6  | 6  | 20 | 36 | 48 | 49 | 59 |
| Регул        | 2  | 7  | 8  | 16 | 27 | 48 | 54 | 60 |

Обучающая выборка (таблица 6), по сути, представляет собой нормализованные исходные данные, т.е. таблицу исходных данных (таблица 3), закодированную с помощью классификационных и описательных шкал и градаций (таблицы 4 и 5).

Таким образом, созданы все необходимые и достаточные условия для выполнения следующего этапа АСК-анализа: т.е. для синтеза и верификации моделей.

### Задача 3: синтез и верификация статистических и системно-когнитивных моделей и выбор наиболее достоверной из них для решения задач

Синтез и верификация статистических и системно-когнитивных моделей (СК-моделей) моделей осуществляется в режиме 3.5 системы «Эйдос» (рисунок 4). Сами эти модели описаны в ряде работ [1-8].

**3.5. Выбор моделей для синтеза и верификации**

Задайте модели для синтеза и верификации

Статистические базы:

- ☒ 1. ABS - частный критерий: количество встреч сочетаний: "класс-признак" у объектов обуч.выборки
- ☒ 2. PRC1 - частный критерий: усл. вероятность i-го признака среди признаков объектов i-го класса
- ☒ 3. PRC2 - частный критерий: условная вероятность i-го признака у объектов i-го класса

Системно-когнитивные модели (базы знаний):

- ☒ 4. INF1 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу; вероятности из PRC1
- ☒ 5. INF2 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу; вероятности из PRC2
- ☒ 6. INF3 - частный критерий: Хинквадрат, разности между фактическими и ожидаемыми абс. частотами
- ☒ 7. INF4 - частный критерий: ROI (Return On Investment); вероятности из PRC1
- ☒ 8. INF5 - частный критерий: ROI (Return On Investment); вероятности из PRC2
- ☒ 9. INF6 - частный критерий: разн. усл. и безуслов. вероятностей; вероятности из PRC1
- ☒ 10. INF7 - частный критерий: разн. усл. и безуслов. вероятностей; вероятности из PRC2

Текущая модель:

- ☐ 1. ABS
- ☐ 2. PRC1
- ☐ 3. PRC2
- ☒ 4. INF1
- ☐ 5. INF2
- ☐ 6. INF3
- ☐ 7. INF4
- ☐ 8. INF5
- ☐ 9. INF6
- ☐ 10. INF7

Параметры копирования обучающей выборки в распознаваемую:

Какие объекты обуч.выборки копировать:

- ☒ Копировать всю обучающую выборку
- ☐ Копировать только текущий объект
- ☐ Копировать каждый N-й объект
- ☐ Копировать N случайных объектов
- ☐ Копировать все объекты от N1 до N2
- ☐ Вообще не менять распознаваемую выборку

Удалять из обуч.выборки скопированные объекты:

- ☒ Не удалять
- ☐ Удалять

Пояснение по алгоритму верификации

Для каждой заданной модели выполнять:

- ☒ Синтез и верификацию
- ☐ Только верификацию
- ☐ Только синтез

На каком процессоре выполнять расчеты:

- ☐ CPU
- ☒ GPU

Уменьшение размеров базы данных результатов распознавания: Rasp.dbf

Расчетный размер БД результатов распознавания Rasp.dbf равен 23056 байт, т.е.: 0.0010736 % от MAX-возможного, (от 2Гб)

Задайте, сколько % от исходной БД Rasp.dbf оставить, удаляя наименее достоверные результаты распознавания:

Ok Cancel

**3.5. Выбор моделей для синтеза и верификации**

Стадии исполнения процесса

Шаг 1-й из 11: Копирование обучающей выборки в распознаваемую - Готово

Шаг 2-й из 11: Синтез стат.модели "ABS" (расчет матрицы абсолютных частот) - Готово

Шаг 3-й из 11: Синтез стат.моделей "PRC1" и "PRC2" (усл.безусл.% распр.) - Готово

Шаг 4-й из 11: Синтез системно-когнитивных моделей: INF1-INF7 - Готово

НАЧАЛО ЦИКЛА ПО ЧАСТНЫМ И ИНТЕГРАЛЬНЫМ КРИТЕРИЯМ - ИСПОЛНЕНИЕ: \_\_\_\_\_...

Шаг 5-й из 11: Задание модели "INF7" в качестве текущей - Готово

Шаг 6-й из 11: Пакетное распознавание в модели "INF7" - Готово

Шаг 7-й из 11: Измерение достоверности модели: "Inf7" - Интегральный критерий: "Сумма знаний" - Готово

КОНЕЦ ЦИКЛА ПО ЧАСТНЫМ И ИНТЕГРАЛЬНЫМ КРИТЕРИЯМ - ГОТОВО: \_\_\_\_\_...

Шаг 8-й из 11: Объединение БД DostRsp# в БД DostRasp - Готово

Шаг 9-й из 11: Печать сводной формы по результатам верификации моделей - Готово

Шаг 10-й из 11: Создание формы: "Достоверность идент.классов в различных моделях" - Готово

Шаг 11-й из 11: "Присвоение заданной модели:Inf1 статуса текущей" - Готово

**Синтез и верификация статистических и системно-когнитивных моделей успешно завершены !!!**

Прогноз времени исполнения

Начало: 17:39:38 Окончание: 17:40:02

Прошло: 0:00:23 Осталось: 0:00:00

100%

Ok

Рисунок 4. Экранная форма режима синтеза и верификации статистических и системно-когнитивных моделей системы «Эйдос»

Обратим внимание на то, что на рисунке 4 в правом нижнем углу окна задана опция: «Расчеты проводить на графическом процессор (GPU)».

Из рисунка 4 видно, что весь процесс синтеза и верификации моделей заняло 22 секунды. Отметим, что при синтезе и верификации моделей использовался графический процессор (GPU) видеокарты. На центральном процессоре (CPU) выполнение этих операций занимает значительно большее время (на некоторых задачах это происходит в десятки, сотни и даже тысячи раз дольше). Таким образом, неграфические вычисления на графических процессорах видеокарты делает возможной обработку больших объемов исходных данных за разумное время. В процесс синтеза и верификации моделей осуществляется также расчет 10 выходных форм, на что уходит более 99% времени исполнения.

Фрагменты самих созданных статистических и системно-когнитивных моделей (СК-модели) приведены на рисунках 5, 6, 7:

5.5. Модели: "1. ABS - частный критерий: количество встреч сочетаний "Класс-признак" у объектов обуч.выборки"

| Код признака | Наименование описательной шкалы и градации        | 1. ТИП 1/5 ГИГАНТ | 2. ТИП 2/5 ЗВЕЗДА ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТ. | 3. ТИП 3/5 КАРЛИК | 4. ТИП 4/5 ПЕРЕМЕННАЯ | 5. ТИП 5/5 СВЕРГГИГАНТ | 6. СПЕКТРАЛЬН... КЛАСС 1/6 А | 7. СПЕКТРАЛЬН... КЛАСС 2/6 В | 8. СПЕКТРАЛЬН... КЛАСС 3/6 F | 9. СПЕКТРАЛЬН... КЛАСС 4/6 G | 10. СПЕКТРАЛЬН... КЛАСС 5/6 K | 11. СПЕКТРАЛЬН... КЛАСС 6/6 M |
|--------------|---------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1            | ТЕМПЕРАТУРА, K-1/10-(3400.0000000, 3600.000000... |                   |                                       |                   |                       | 2                      |                              |                              |                              |                              |                               | 2                             |
| 2            | ТЕМПЕРАТУРА, K-2/10-(3600.0000000, 4300.000000... | 2                 |                                       |                   |                       |                        |                              |                              |                              |                              | 2                             |                               |
| 3            | ТЕМПЕРАТУРА, K-3/10-(4300.0000000, 4940.000000... | 2                 |                                       |                   |                       |                        |                              |                              |                              | 1                            | 1                             |                               |
| 4            | ТЕМПЕРАТУРА, K-4/10-(4940.0000000, 6600.000000... |                   | 1                                     | 1                 |                       |                        |                              |                              | 1                            | 1                            |                               |                               |
| 5            | ТЕМПЕРАТУРА, K-5/10-(6600.0000000, 8000.000000... |                   | 1                                     |                   |                       | 1                      | 1                            |                              |                              |                              |                               |                               |
| 6            | ТЕМПЕРАТУРА, K-6/10-(8000.0000000, 8950.000000... |                   | 1                                     |                   |                       | 1                      | 2                            |                              |                              |                              |                               |                               |
| 7            | ТЕМПЕРАТУРА, K-7/10-(8950.0000000, 9940.000000... |                   | 2                                     |                   |                       | 2                      |                              |                              |                              |                              |                               |                               |
| 8            | ТЕМПЕРАТУРА, K-8/10-(9940.0000000, 10300.00000... |                   | 2                                     |                   |                       |                        |                              | 2                            |                              |                              |                               |                               |
| 9            | ТЕМПЕРАТУРА, K-9/10-(10300.0000000, 22400.0000... |                   |                                       |                   | 1                     | 1                      |                              | 2                            |                              |                              |                               |                               |
| 10           | ТЕМПЕРАТУРА, K-10/10-(22400.0000000, 28000.000... | 1                 | 1                                     |                   |                       |                        |                              | 2                            |                              |                              |                               |                               |
| 11           | МАССА, M-1/10-(1.0000000, 1.1000000)              | 1                 |                                       | 1                 |                       |                        |                              |                              |                              | 1                            | 1                             |                               |
| 12           | МАССА, M-2/10-(1.1000000, 1.5000000)              |                   | 1                                     |                   |                       | 1                      |                              |                              | 1                            |                              |                               | 1                             |
| 13           | МАССА, M-3/10-(1.5000000, 1.7000000)              | 1                 | 1                                     |                   |                       |                        | 1                            |                              |                              |                              | 1                             |                               |
| 14           | МАССА, M-4/10-(1.7000000, 2.0000000)              |                   | 2                                     |                   |                       |                        | 2                            |                              |                              |                              |                               |                               |
| 15           | МАССА, M-5/10-(2.0000000, 2.5000000)              | 1                 | 1                                     |                   |                       |                        | 1                            |                              |                              |                              | 1                             |                               |
| 16           | МАССА, M-6/10-(2.5000000, 3.5000000)              | 1                 | 1                                     |                   |                       |                        |                              | 1                            |                              | 1                            |                               |                               |
| 17           | МАССА, M-7/10-(3.5000000, 9.0000000)              |                   | 1                                     |                   |                       | 1                      |                              | 1                            | 1                            |                              |                               |                               |
| 18           | МАССА, M-8/10-(9.0000000, 11.0000000)             | 1                 |                                       |                   | 1                     |                        |                              | 2                            |                              |                              |                               |                               |
| 19           | МАССА, M-9/10-(11.0000000, 14.0000000)            |                   | 1                                     |                   |                       | 1                      |                              | 1                            |                              |                              |                               | 1                             |
| 20           | МАССА, M-10/10-(14.0000000, 21.0000000)           |                   |                                       |                   |                       | 2                      | 1                            | 1                            |                              |                              |                               |                               |
| 21           | РАДИУС, R-1/10-                                   | 1                 | 1                                     |                   |                       |                        |                              | 2                            |                              |                              |                               |                               |
| 22           | РАДИУС, R-2/10-1.2270000                          |                   |                                       | 1                 |                       |                        |                              |                              |                              | 1                            |                               |                               |

Рисунок 5. Матрица абсолютных частот (фрагмент)

5.5. Модели: "4. INF1 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу; вероятности из PRC1"

| Код признака | Наименование описательной шкалы и градации     | 1. ТИП 1/5 ГИГАНТ | 2. ТИП 2/5 ЗВЕЗДА ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТ. | 3. ТИП 3/5 КАРЛИК | 4. ТИП 4/5 ПЕРЕМЕННАЯ | 5. ТИП 5/5 СВЕРГГИГАНТ | 6. СПЕКТРАЛЬН... КЛАСС 1/6 А | 7. СПЕКТРАЛЬН... КЛАСС 2/6 В | 8. СПЕКТРАЛЬН... КЛАСС 3/6 F | 9. СПЕКТРАЛЬН... КЛАСС 4/6 G | 10. СПЕКТРАЛЬН... КЛАСС 5/6 K | 11. СПЕКТРАЛЬН... КЛАСС 6/6 M |
|--------------|------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1            | ТЕМПЕРАТУРА, K-1/10-(3400.0000000, 3600.00...  |                   |                                       |                   |                       | 0.875                  |                              |                              |                              |                              |                               |                               |
| 2            | ТЕМПЕРАТУРА, K-2/10-(3600.0000000, 4300.00...  | 0.875             |                                       |                   |                       |                        |                              |                              |                              |                              | 1.197                         |                               |
| 3            | ТЕМПЕРАТУРА, K-3/10-(4300.0000000, 4940.00...  | 0.875             |                                       |                   |                       |                        |                              |                              |                              | 1.016                        | 0.760                         |                               |
| 4            | ТЕМПЕРАТУРА, K-4/10-(4940.0000000, 6600.00...  |                   | 0.141                                 | 1.453             |                       |                        |                              |                              | 1.016                        | 1.016                        |                               |                               |
| 5            | ТЕМПЕРАТУРА, K-5/10-(6600.0000000, 8000.00...  |                   | 0.141                                 |                   |                       | 0.438                  | 0.438                        |                              |                              |                              |                               |                               |
| 6            | ТЕМПЕРАТУРА, K-6/10-(8000.0000000, 8950.00...  |                   | 0.141                                 |                   |                       | 0.438                  | 0.875                        |                              |                              |                              |                               |                               |
| 7            | ТЕМПЕРАТУРА, K-7/10-(8950.0000000, 9940.00...  |                   | 0.578                                 |                   |                       |                        | 0.875                        |                              |                              |                              |                               |                               |
| 8            | ТЕМПЕРАТУРА, K-8/10-(9940.0000000, 10300.0...  |                   | 0.578                                 |                   |                       |                        |                              | 0.760                        |                              |                              |                               |                               |
| 9            | ТЕМПЕРАТУРА, K-9/10-(10300.0000000, 22400.0... |                   |                                       |                   | 1.453                 | 0.438                  |                              | 0.760                        |                              |                              |                               |                               |
| 10           | ТЕМПЕРАТУРА, K-10/10-(22400.0000000, 28000...  | 0.438             | 0.141                                 |                   |                       |                        |                              | 0.760                        |                              |                              |                               |                               |
| 11           | МАССА, M-1/10-(1.0000000, 1.1000000)           | 0.438             |                                       | 1.453             |                       |                        |                              |                              |                              | 1.016                        | 0.760                         |                               |
| 12           | МАССА, M-2/10-(1.1000000, 1.5000000)           |                   | 0.141                                 |                   |                       | 0.438                  |                              |                              | 1.016                        |                              |                               |                               |
| 13           | МАССА, M-3/10-(1.5000000, 1.7000000)           | 0.438             | 0.141                                 |                   |                       |                        | 0.438                        |                              |                              |                              | 0.760                         |                               |
| 14           | МАССА, M-4/10-(1.7000000, 2.0000000)           |                   | 0.578                                 |                   |                       |                        | 0.875                        |                              |                              |                              |                               |                               |
| 15           | МАССА, M-5/10-(2.0000000, 2.5000000)           | 0.438             | 0.141                                 |                   |                       |                        | 0.438                        |                              |                              |                              | 0.760                         |                               |
| 16           | МАССА, M-6/10-(2.5000000, 3.5000000)           | 0.438             | 0.141                                 |                   |                       |                        |                              | 0.322                        |                              | 1.016                        |                               |                               |
| 17           | МАССА, M-7/10-(3.5000000, 9.0000000)           |                   | 0.141                                 |                   |                       | 0.438                  |                              | 0.322                        | 1.016                        |                              |                               |                               |
| 18           | МАССА, M-8/10-(9.0000000, 11.0000000)          | 0.438             |                                       |                   | 1.453                 |                        |                              | 0.760                        |                              |                              |                               |                               |
| 19           | МАССА, M-9/10-(11.0000000, 14.0000000)         |                   | 0.141                                 |                   |                       | 0.438                  |                              | 0.322                        |                              |                              |                               |                               |
| 20           | МАССА, M-10/10-(14.0000000, 21.0000000)        |                   |                                       |                   |                       | 0.875                  | 0.438                        | 0.322                        |                              |                              |                               |                               |
| 21           | РАДИУС, R-1/10-                                | 0.438             | 0.141                                 |                   |                       |                        |                              | 0.760                        |                              |                              |                               |                               |
| 22           | РАДИУС, R-2/10-1.2270000                       |                   |                                       | 1.891             |                       |                        |                              |                              |                              | 1.453                        |                               |                               |

Рисунок 6. Матрица информативностей INF1 (фрагмент)

3.5. Модель: "6. INF3 - частный критерий: Хи-квадрат, разности между фактическими и ожидаемыми абсолютными"

| Код признака | Наименование описательной шкалы и градации    | 1. ТИП 1/5 ГИГАНТ | 2. ТИП 2/5 ЗВЕЗДА ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕ. | 3. ТИП 3/5 КАРЛИК | 4. ТИП 4/5 ПЕРЕМЕННАЯ | 5. ТИП 5/5 СВЕРОГЛИГАНТ | 6. СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС 1/6 A | 7. СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС 2/6 B | 8. СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС 3/6 F | 9. СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС 4/6 G | 10. СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС 5/6 K | 11. СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС 6/6 M |
|--------------|-----------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1            | ТЕМПЕРАТУРА, K-1/10-(3400.0000000, 3600.00... | -0.500            | -0.800                                 | -0.100            | -0.100                | 1.500                   | -0.500                      | -0.600                      | -0.200                      | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 2            | ТЕМПЕРАТУРА, K-2/10-(3600.0000000, 4300.00... | 1.500             | -0.800                                 | -0.100            | -0.100                | -0.500                  | -0.500                      | -0.600                      | -0.200                      | -0.200                      | 1.700                        |                              |
| 3            | ТЕМПЕРАТУРА, K-3/10-(4300.0000000, 4940.00... | 1.500             | -0.800                                 | -0.100            | -0.100                | -0.500                  | -0.500                      | -0.600                      | -0.200                      | 0.800                       | 0.700                        |                              |
| 4            | ТЕМПЕРАТУРА, K-4/10-(4940.0000000, 6600.00... | -0.500            | 0.200                                  | 0.900             | -0.100                | -0.500                  | -0.500                      | -0.600                      | 0.800                       | 0.800                       | -0.300                       |                              |
| 5            | ТЕМПЕРАТУРА, K-5/10-(6600.0000000, 8000.00... | -0.500            | 0.200                                  | -0.100            | -0.100                | 0.500                   | 0.500                       | -0.600                      | 0.800                       | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 6            | ТЕМПЕРАТУРА, K-6/10-(8000.0000000, 8550.00... | -0.500            | 0.200                                  | -0.100            | -0.100                | 0.500                   | 1.500                       | -0.600                      | -0.200                      | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 7            | ТЕМПЕРАТУРА, K-7/10-(8550.0000000, 9940.00... | -0.500            | 1.200                                  | -0.100            | -0.100                | -0.500                  | 1.500                       | -0.600                      | -0.200                      | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 8            | ТЕМПЕРАТУРА, K-8/10-(9940.0000000, 10300.0... | -0.500            | 1.200                                  | -0.100            | -0.100                | -0.500                  | -0.500                      | 1.400                       | -0.200                      | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 9            | ТЕМПЕРАТУРА, K-9/10-(10300.0000000, 22400...  | -0.500            | -0.800                                 | -0.100            | 0.900                 | 0.500                   | -0.500                      | 1.400                       | -0.200                      | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 10           | ТЕМПЕРАТУРА, K-10/10-(22400.0000000, 28000... | 0.500             | 0.200                                  | -0.100            | -0.100                | -0.500                  | -0.500                      | 1.400                       | -0.200                      | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 11           | МАССА, M-1/10-(1.0000000, 1.1000000)          | 0.500             | -0.800                                 | 0.900             | -0.100                | -0.500                  | -0.500                      | -0.600                      | -0.200                      | 0.800                       | 0.700                        |                              |
| 12           | МАССА, M-2/10-(1.1000000, 1.5000000)          | -0.500            | 0.200                                  | -0.100            | -0.100                | 0.500                   | -0.500                      | -0.600                      | 0.800                       | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 13           | МАССА, M-3/10-(1.5000000, 1.7000000)          | 0.500             | 0.200                                  | -0.100            | -0.100                | -0.500                  | 0.500                       | -0.600                      | -0.200                      | -0.200                      | 0.700                        |                              |
| 14           | МАССА, M-4/10-(1.7000000, 2.0000000)          | -0.500            | 1.200                                  | -0.100            | -0.100                | -0.500                  | 1.500                       | -0.600                      | -0.200                      | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 15           | МАССА, M-5/10-(2.0000000, 2.5000000)          | 0.500             | 0.200                                  | -0.100            | -0.100                | -0.500                  | 0.500                       | -0.600                      | -0.200                      | -0.200                      | 0.700                        |                              |
| 16           | МАССА, M-6/10-(2.5000000, 3.5000000)          | 0.500             | 0.200                                  | -0.100            | -0.100                | -0.500                  | -0.500                      | 0.400                       | -0.200                      | 0.800                       | -0.300                       |                              |
| 17           | МАССА, M-7/10-(3.5000000, 5.0000000)          | -0.500            | 0.200                                  | -0.100            | -0.100                | 0.500                   | -0.500                      | 0.400                       | 0.800                       | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 18           | МАССА, M-8/10-(5.0000000, 11.0000000)         | 0.500             | -0.800                                 | -0.100            | 0.900                 | -0.500                  | -0.500                      | 1.400                       | -0.200                      | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 19           | МАССА, M-9/10-(11.0000000, 14.0000000)        | -0.500            | 0.200                                  | -0.100            | -0.100                | 0.500                   | -0.500                      | 0.400                       | -0.200                      | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 20           | МАССА, M-10/10-(14.0000000, 21.0000000)       | -0.500            | -0.800                                 | -0.100            | -0.100                | 1.500                   | 0.500                       | 0.400                       | -0.200                      | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 21           | РАДИУС, R-1/18-                               | 0.500             | 0.200                                  | -0.100            | -0.100                | -0.500                  | -0.500                      | 1.400                       | -0.200                      | -0.200                      | -0.300                       |                              |
| 22           | РАДИУС, R-2/18:1.2270000                      | -0.250            | -0.400                                 | 0.950             | -0.050                | -0.250                  | -0.250                      | -0.300                      | -0.100                      | 0.900                       | -0.150                       |                              |

Рисунок 7. Модель INF3 (фрагмент)

Отметим, что в АСК-анализе и СК-моделях степень выраженности различных физических свойств объектов наблюдения рассматривается с одной единственной точки зрения: какое **количество информации** содержится в них о том, к каким обобщающим категориям (классам) будут принадлежать или не принадлежать эти объекты. Поэтому не играет никакой роли в каких единицах измерения измеряются те или иные характеристики. Это и есть решение проблемы сопоставимости в АСК-анализе и системе «Эйдос», отличающее их от других интеллектуальных технологий..

### Верификация статистических и системно-когнитивных моделей

Оценка достоверности моделей в системе «Эйдос» осуществляется путем решения задачи классификации объектов обучающей выборки по обобщенным образам классов и подсчета количества истинных положительных и отрицательных, а также ложных положительных и отрицательных решений по F-мере Ван Ризбергера, а также по критериям L1- L2-мерам проф.Е.В.Луценко, смягчающие и преодолевающие недостатки F-меры [3]. В режиме 3.4 системы «Эйдос» изучается достоверность каждой частной модели в соответствии с этими мерами достоверности (рисунок 8).

3.4. Обобщ. форма по достов. моделей при разн. инт. крит. Текущая модель: "INF1"

| Наименование модели и частного критерия                                 | Интегральный критерий                 | F-критерий Ван Ризбергера | Сумма модул. уровней сход. истинно-полож. решений (STP) | Сумма модул. уровней сход. истинно-отриц. решений (STN) | Сумма модул. уровней сход. ложно-полож. решений (SFP) | Сумма модул. уровней сход. ложно-отриц. решений (SFN) | S-Точность модели | S-Полнота модели | L1-мера проф. Е.В. Луценко | Средний модуль уровней сход. истинно-полож. решений | Средний модуль уровней сход. истинно-отриц. решений | Средний модуль уровней сход. ложно-полож. решений |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1. ABS - частный критерий: количество встреч соимений "клас...          | Корреляция абс. частот с обр...       | 0.734                     | 21.865                                                  | 18.047                                                  | 3.547                                                 |                                                       | 0.860             | 1.000            | 0.925                      | 0.547                                               | 0.120                                               | 0.                                                |
| 1. ABS - частный критерий: количество встреч соимений "клас...          | Сумма абс. частот по признакам...     | 0.471                     | 25.333                                                  |                                                         | 11.467                                                |                                                       | 0.688             | 1.000            | 0.815                      | 0.633                                               |                                                     | 0.                                                |
| 2. PRC1 - частный критерий: усл. вероятность i-го признака сред...      | Корреляция усл.отн. частот с о...     | 0.734                     | 21.865                                                  | 18.047                                                  | 3.547                                                 |                                                       | 0.860             | 1.000            | 0.925                      | 0.547                                               | 0.120                                               | 0.                                                |
| 2. PRC1 - частный критерий: усл. вероятность i-го признака сред...      | Сумма усл.отн. частот по признакам... | 0.471                     | 15.706                                                  |                                                         | 8.993                                                 |                                                       | 0.636             | 1.000            | 0.777                      | 0.393                                               |                                                     | 0.                                                |
| 3. PRC2 - частный критерий: условная вероятность i-го признака...       | Корреляция усл.отн. частот с о...     | 0.734                     | 21.865                                                  | 18.047                                                  | 3.547                                                 |                                                       | 0.860             | 1.000            | 0.925                      | 0.547                                               | 0.120                                               | 0.                                                |
| 3. PRC2 - частный критерий: условная вероятность i-го признака...       | Сумма усл.отн. частот по признакам... | 0.471                     | 15.706                                                  |                                                         | 8.993                                                 |                                                       | 0.636             | 1.000            | 0.777                      | 0.393                                               |                                                     | 0.                                                |
| 4. INF1 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу: в...      | Семантический резонанс: зна...        | 0.835                     | 19.012                                                  | 21.968                                                  | 2.099                                                 | 0.043                                                 | 0.901             | 0.998            | 0.947                      | 0.500                                               | 0.132                                               | 0.                                                |
| 4. INF1 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу: в...      | Сумма знаний                          | 0.497                     | 19.207                                                  | 0.090                                                   | 8.499                                                 |                                                       | 0.693             | 1.000            | 0.819                      | 0.480                                               | 0.001                                               | 0.                                                |
| 5. INF2 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу: в...      | Семантический резонанс: зна...        | 0.835                     | 19.012                                                  | 21.968                                                  | 2.099                                                 | 0.043                                                 | 0.901             | 0.998            | 0.947                      | 0.500                                               | 0.132                                               | 0.                                                |
| 5. INF2 - частный критерий: количество знаний по А.Харкевичу: в...      | Сумма знаний                          | 0.497                     | 19.207                                                  | 0.090                                                   | 8.499                                                 |                                                       | 0.693             | 1.000            | 0.819                      | 0.480                                               | 0.001                                               | 0.                                                |
| 6. INF3 - частный критерий: "Хинквадрат: разности между факти...        | Семантический резонанс: зна...        | 0.800                     | 21.214                                                  | 24.491                                                  | 2.730                                                 |                                                       | 0.886             | 1.000            | 0.940                      | 0.530                                               | 0.153                                               | 0.                                                |
| 6. INF3 - частный критерий: "Хинквадрат: разности между факти...        | Сумма знаний                          | 0.816                     | 23.559                                                  | 25.255                                                  | 1.696                                                 |                                                       | 0.933             | 1.000            | 0.965                      | 0.589                                               | 0.156                                               | 0.                                                |
| 7. INF4 - частный критерий: ROI (Return On Investment): веро...         | Семантический резонанс: зна...        | 0.874                     | 19.939                                                  | 23.438                                                  | 1.543                                                 | 0.082                                                 | 0.928             | 0.996            | 0.961                      | 0.525                                               | 0.137                                               | 0.                                                |
| 7. INF4 - частный критерий: ROI (Return On Investment): веро...         | Сумма знаний                          | 0.494                     | 11.030                                                  | 0.019                                                   | 4.632                                                 |                                                       | 0.704             | 1.000            | 0.826                      | 0.276                                               | 0.000                                               | 0.                                                |
| 8. INF5 - частный критерий: ROI (Return On Investment): веро...         | Семантический резонанс: зна...        | 0.874                     | 19.939                                                  | 23.438                                                  | 1.543                                                 | 0.082                                                 | 0.928             | 0.996            | 0.961                      | 0.525                                               | 0.137                                               | 0.                                                |
| 8. INF5 - частный критерий: ROI (Return On Investment): веро...         | Сумма знаний                          | 0.494                     | 11.030                                                  | 0.018                                                   | 4.632                                                 |                                                       | 0.704             | 1.000            | 0.826                      | 0.276                                               | 0.000                                               | 0.                                                |
| 9. INF6 - частный критерий: разн. усл. и безуслов. вероятностей; вер... | Семантический резонанс: зна...        | 0.796                     | 20.922                                                  | 19.796                                                  | 2.916                                                 | 0.094                                                 | 0.878             | 0.996            | 0.933                      | 0.536                                               | 0.123                                               | 0.                                                |
| 9. INF6 - частный критерий: разн. усл. и безуслов. вероятностей; вер... | Сумма знаний                          | 0.510                     | 12.455                                                  | 0.056                                                   | 6.039                                                 |                                                       | 0.673             | 1.000            | 0.806                      | 0.311                                               | 0.001                                               | 0.                                                |
| 10. INF7 - частный критерий: разн. усл. и безуслов. вероятностей; ве... | Семантический резонанс: зна...        | 0.796                     | 20.922                                                  | 19.796                                                  | 2.916                                                 | 0.094                                                 | 0.878             | 0.996            | 0.933                      | 0.536                                               | 0.123                                               | 0.                                                |
| 10. INF7 - частный критерий: разн. усл. и безуслов. вероятностей; ве... | Сумма знаний                          | 0.510                     | 12.455                                                  | 0.056                                                   | 6.039                                                 |                                                       | 0.673             | 1.000            | 0.806                      | 0.311                                               | 0.001                                               | 0.                                                |

Помощь по меркам достоверности    Помощь по частотным распределениям    TP, TN, F, FN    (TP, FP), (TN, FN)    (T, F)/(T, F)\*100    Задать интервал сглаживания

Рисунок 8. Экранная форма с информацией о достоверности моделей по F-критерию Ван Ризбергера и L1- и L2-критериям проф.Е.В.Луценко [3]

Из рисунка 8 мы видим, что в данном интеллектуальном приложении по F-критерию Ван Ризбергера наиболее достоверной является СК-модель INF4 с интегральным критерием «Резонанс знаний» ( $F=0,874$  при максимуме 1,000), что неплохо, а по критерию L1 проф.Е.В.Луценко [3] наиболее достоверной также является СК-модель INF3, но с интегральным критерием «Сумма знаний» ( $L1=0,965$  при максимуме 1,000), что является очень хорошим результатом.

*Это подтверждает наличие и адекватное отражение в СК-модели сильной причинно-следственной зависимости между характеристиками различных звезд и их принадлежности к спектральным классам и типам.*

На рисунке 9 приведено частотное распределения числа истинных и ложных положительных и отрицательных решений по результатам прогнозирования результатов принадлежности звезд на основе его различных характеристик в СК-модели INF3 по данным обучающей выборки:

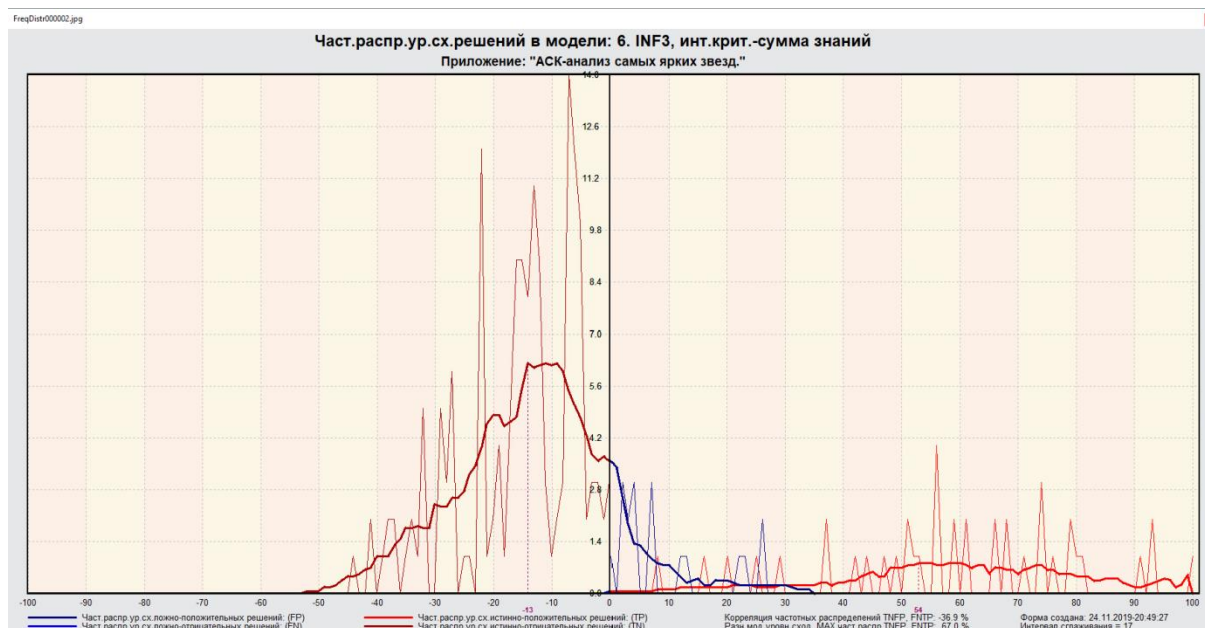


Рисунок 9. Частотные распределения числа истинных и ложных положительных и отрицательных решений и их разности в СК-модели Inf3

Рисунок 9 содержит изображения двух частотных распределений, похожих на нормальные, сдвинутых относительно друг друга по фазе.

Левое распределение, большее по амплитуде включает истинно-отрицательные и истинно-положительные решения, а правое, меньшее по амплитуде, включает ложные отрицательные и истинно-положительные решения.

Сдвиг этих распределений относительно друг друга и другие различия между ними и позволяют решать задачу прогнозирования и другие задачи.

Видно, что для отрицательных решений количество истинных решений всегда значительно превосходит количество ложных решений, причем при уровнях различия больше примерно 12% ложные отрицательные решения вообще отсутствуют.

Видно также, что для положительных решений картина более сложная и включает 3 диапазона уровней сходства

1) при уровнях сходства от 0% до примерно 20% количество ложных решений больше числа истинных;

2) при уровнях сходства от 20% до примерно 35% есть и истинные и ложные положительные решения;

3) при уровнях сходства выше 35% встречаются только истинные положительные решения.

На рисунке 10 приведен Help по режиму 3.4, в котором описаны меры достоверности моделей, применяемые в системе «Эйдос»:

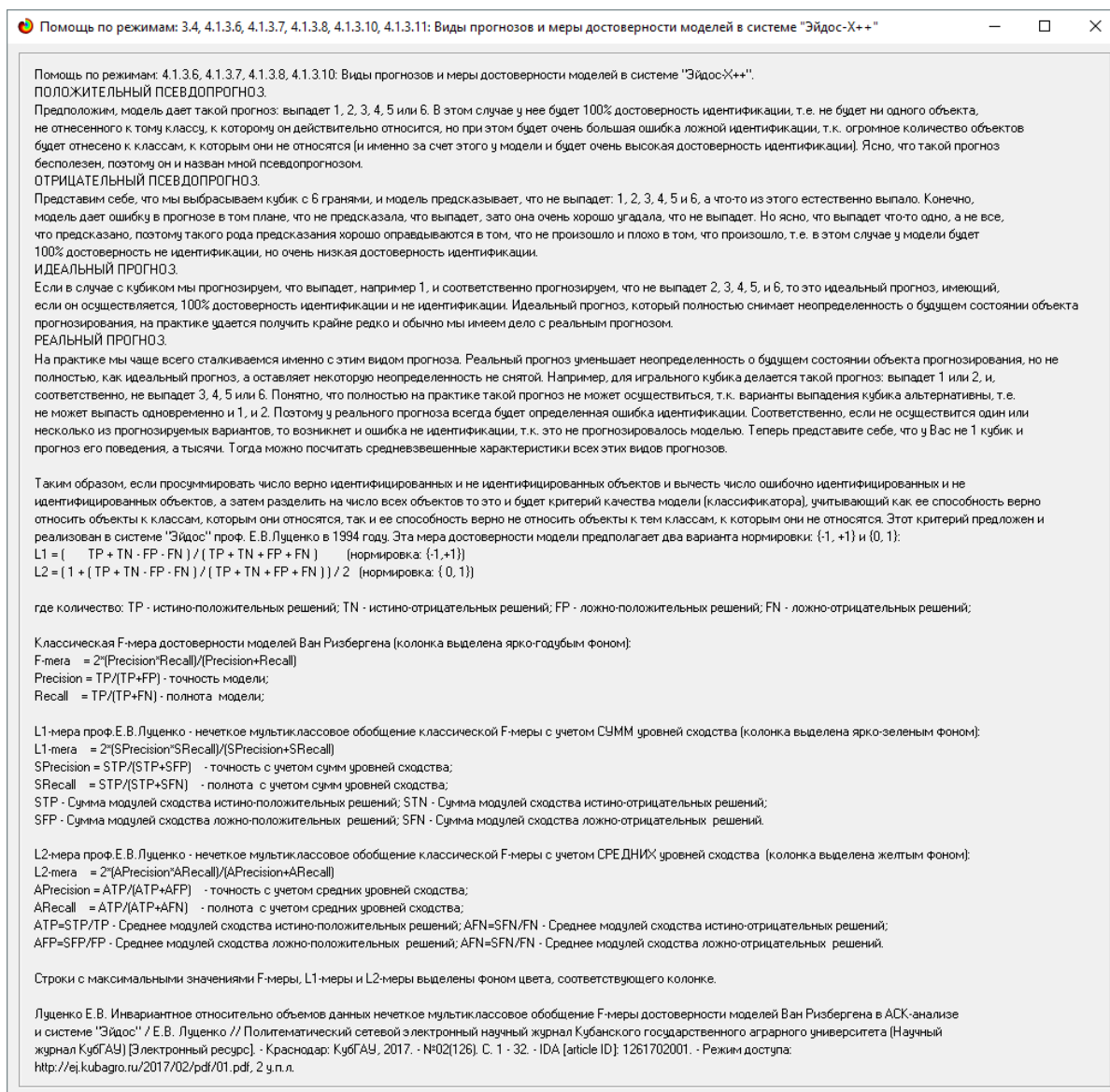


Рисунок 10. Экранная форма с информацией о достоверности моделей по F-критерию Ван Ризбергера и L1- и L2-критериям проф.Е.В.Луценко [3]

## Выбор наиболее достоверной модели и присвоение ей статуса текущей

В соответствии со схемой обработки данных, информации и знаний в системе «Эйдос» (рисунок 1), присвоим СК-модели INF3 статус текущей модели. Для это запустим режим 5.6 с параметрами, приведенными на экранной форме (рисунок 11):



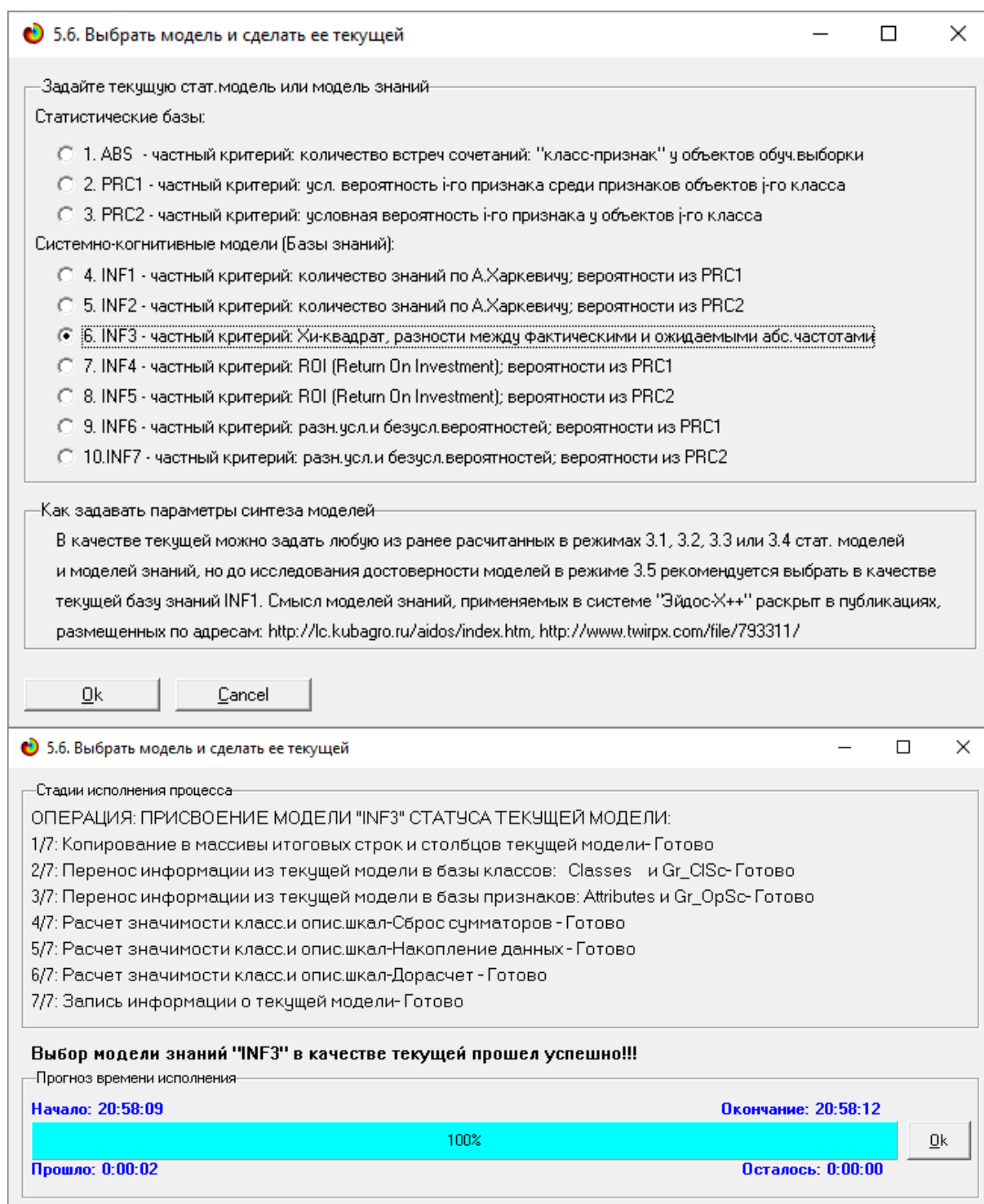


Рисунок 11. Экранные формы придания наиболее достоверной по L2-критерию СК-модели Inf3 статуса текущей модели



## Задача 4: решение различных задач в наиболее достоверной модели

### Подзадача 4.1. Прогнозирование (диагностика, классификация, распознавание, идентификация)

Решим задачу прогнозирования принадлежности звезды к определенным спектральному классу и типу на основе обучающей выборки в наиболее достоверной СК-модели INF3 на GPU. Для этого запустим режим 4.1.2 (рисунок 12).

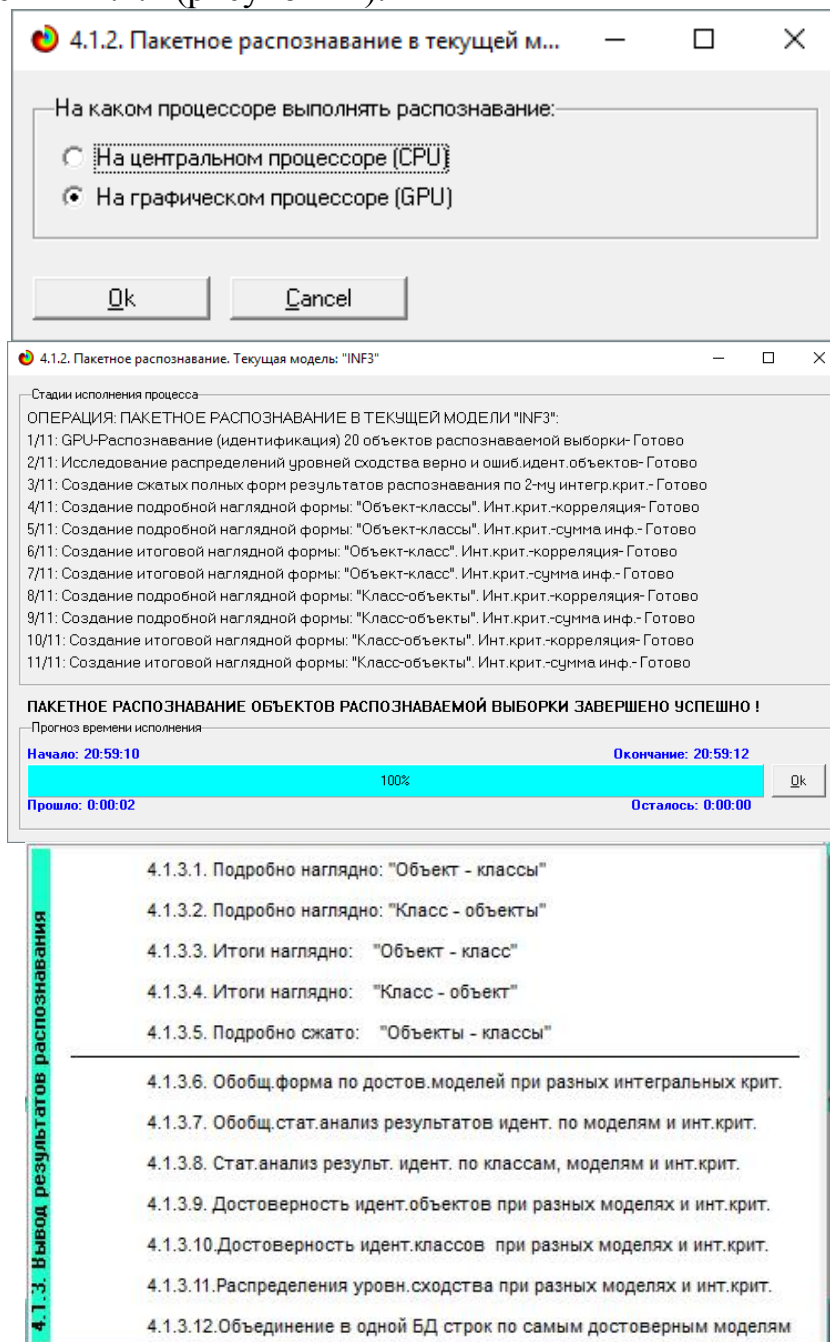


Рисунок 12. Экранные формы отображения процесса решения задачи прогнозирования в текущей модели

Из рисунка 12 видно, что прогнозирование заняло 2 секунды.

Отметим, что 99,999% этого времени заняло не само прогнозирование на GPU, а создание 10 выходных форм на основе результатов этого прогнозирования. Эти формы отражают результаты прогнозирования в различных разрезах и обобщениях:

Приведем две из этих 10 форм: 4.1.3.1 и 4.1.3.2 (рисунок 13).

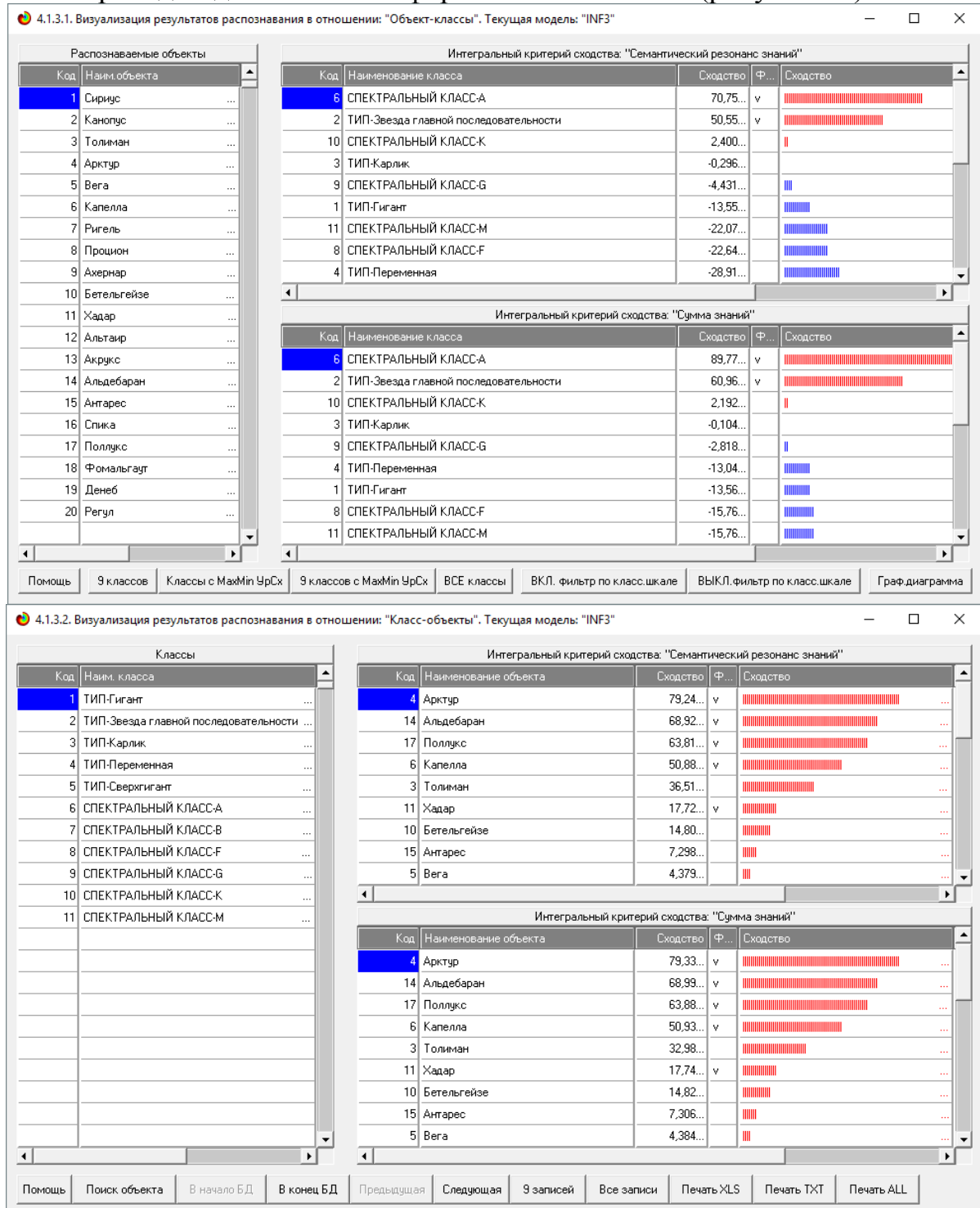


Рисунок 13. Выходные формы по результатам прогнозирования принадлежности звезд к определенному спектральному классу и типу на основе их различных характеристик

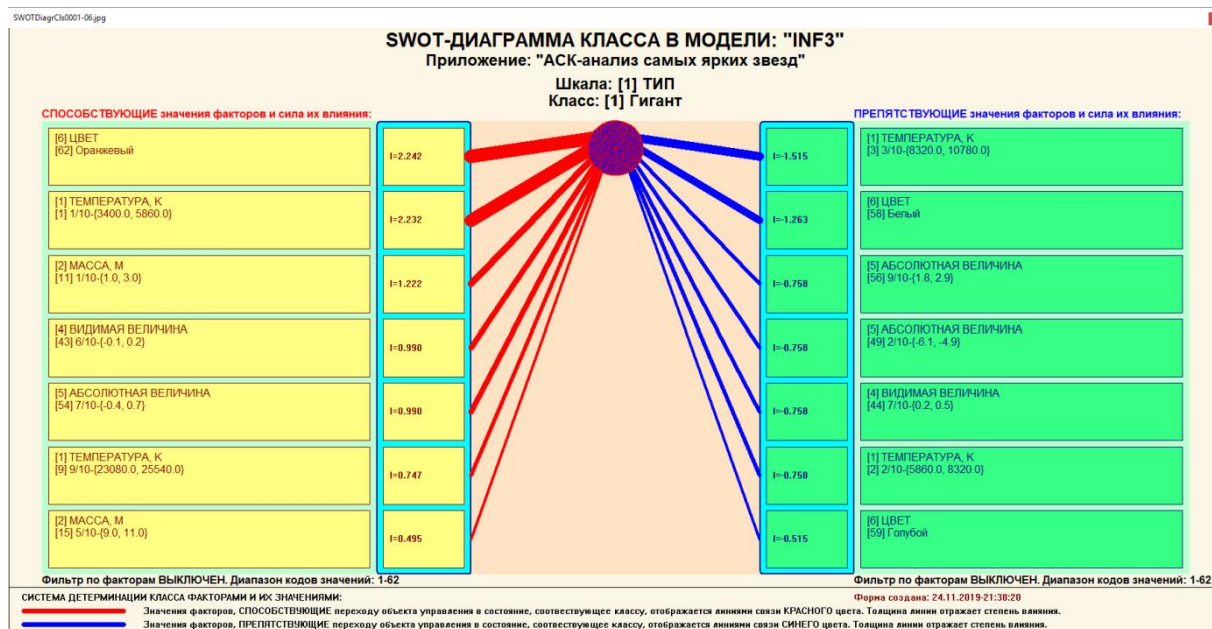
Символ «✓» стоит против тех результатов прогнозирования, которые подтвердились на опыте, т.е. соответствуют факту. Из рисунка 13 видно, что результаты прогнозирования являются очень хорошими, естественно при учете информации из рисунка 9 о том, что достоверные прогнозы в данной модели имеют уровень сходства выше 20%, т.е. по сути прогнозы с более низки уровнем сходства надо просто игнорировать.

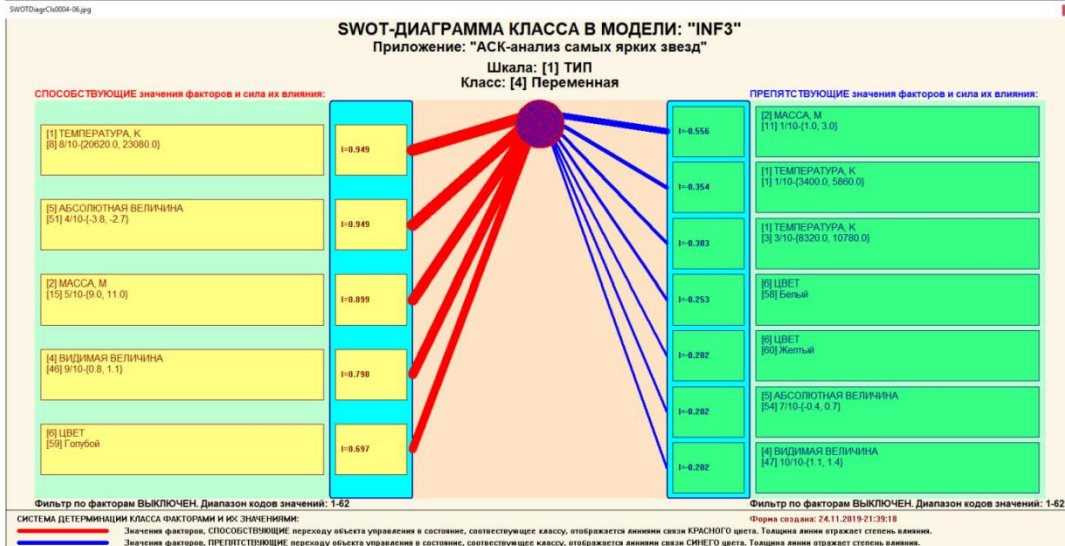
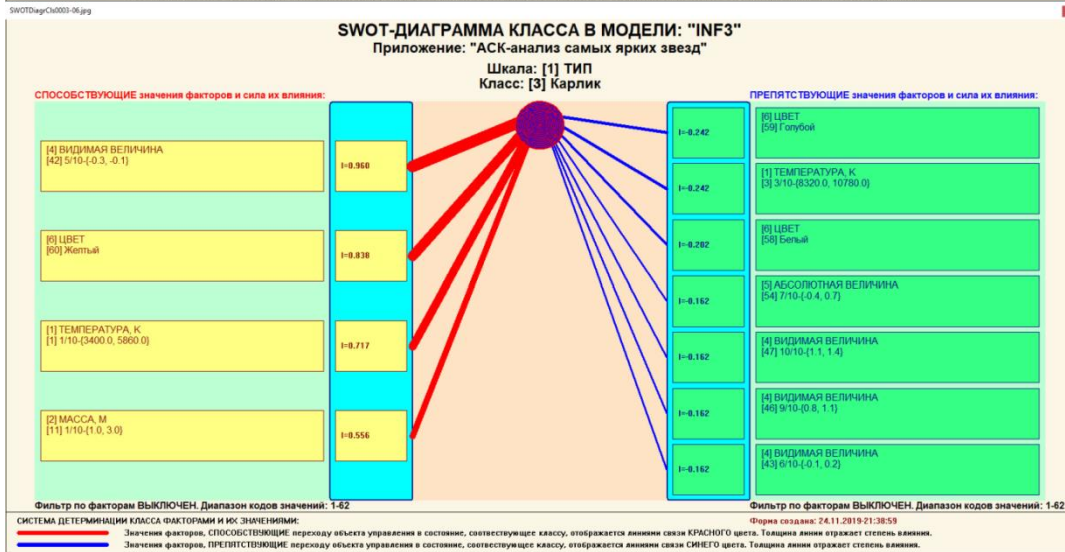
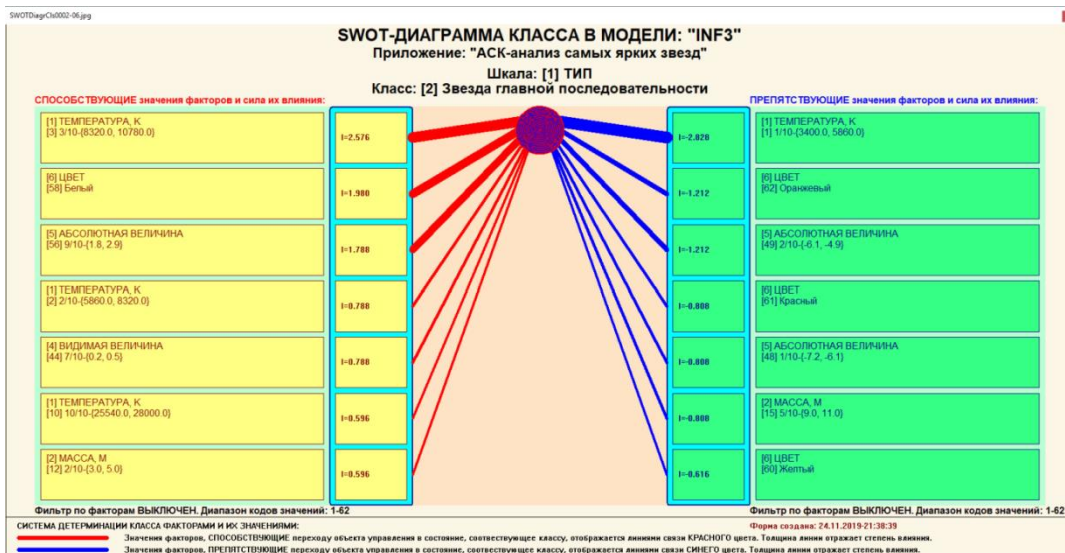
### Подзадача 4.2. Поддержка принятия решений (SWOT-анализ)

При принятии решений определяется сила и направление влияния факторов на принадлежность состояний объекта моделирования к тем или иным классам, соответствующим различным будущим состояниям. По сути это решение задачи SWOT-анализа [4].

Применительно к задаче, решаемой в данной работе, SWOT-анализ показывает степень влияния различных характеристик звезды на его принадлежность к определенным спектральному классу и типу.

В системе «Эйдос» в режиме 4.4.8 поддерживается решение этой задачи. При этом *выявляется система детерминации заданного класса*, т.е. система значений факторов, обуславливающих переход объекта моделирования и управления в состояние, соответствующее данному классу. На рисунках 14 приведены SWOT-диаграммы, отражающие систему детерминации типа звезды.







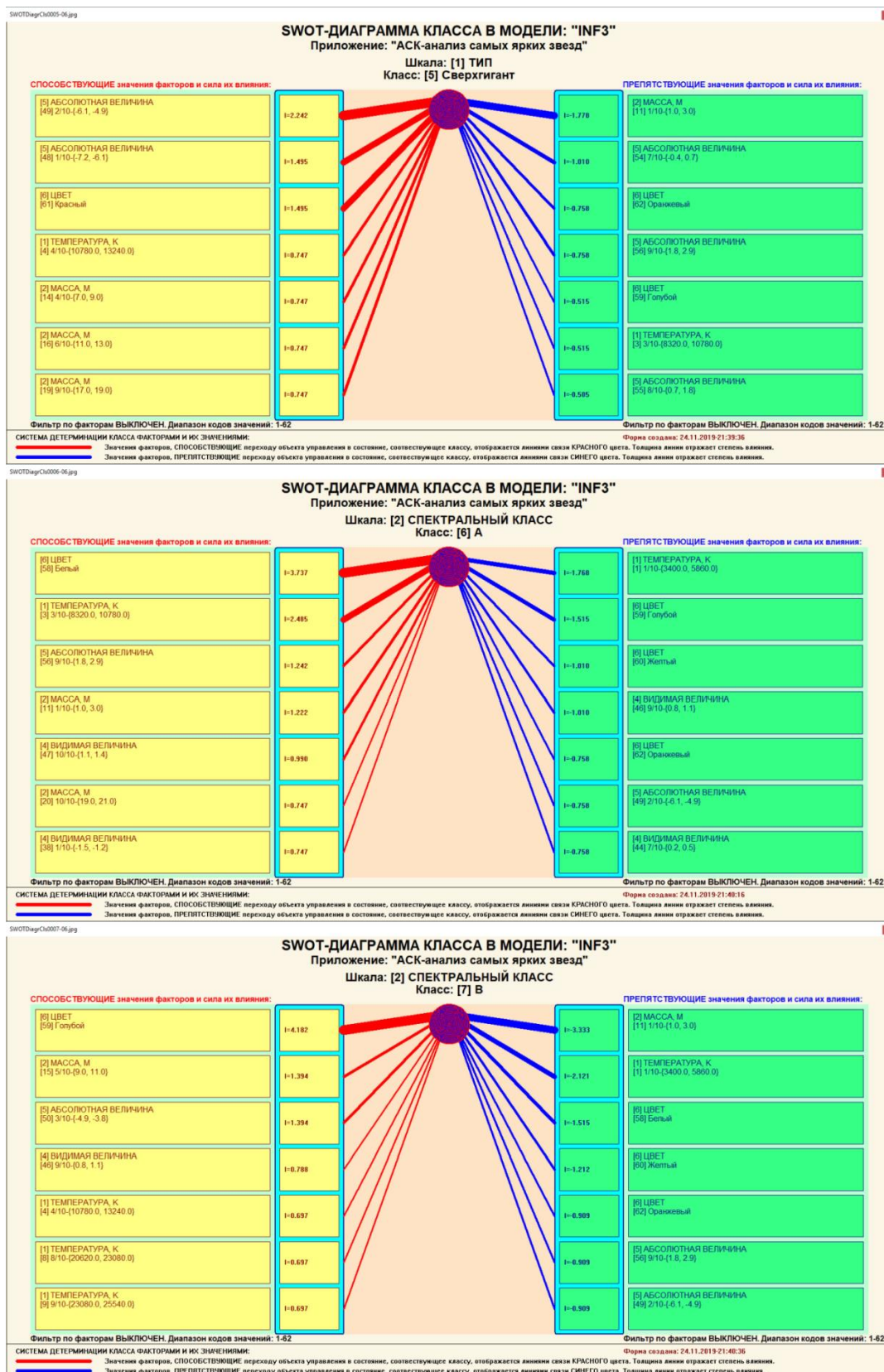
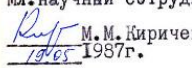
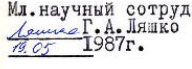
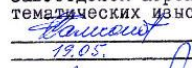
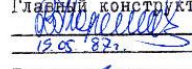


Рисунок 14. SWOT-диаграммы, отражающие силу и направление влияния различных характеристик звезд на их принадлежность к типу или спектральному классу

Информация о системе значений факторов, обуславливающих переход объекта моделирования в различные будущие состояния, соответствующие классам, может быть приведена не только в диаграммах, показанных на рисунках 14, но и во многих других табличных и графических формах, которые в данной работе не приводятся только из-за ограниченности ее объема. В частности в этих формах может быть выведена значительно более полная информация (в т.ч. вообще вся имеющая в модели). Подобная подробная информация содержится в базах данных, расположенных по пути: c:\Aidos-X\AID\_DATA\A0000003\System\SWOTCls####Inf3.DBF, где: «####» – код класса с ведущими нулями. Эти базы открываются в MS Excel.

Отметим также, что система «Эйдос» обеспечивала решение этой *всегда*, т.е. даже в самых ранних DOS-версиях и в реализациях системы «Эйдос» на других языках и типах компьютеров. Например, первый акт внедрения системы «Эйдос», где об этом упоминается в явном виде, датируется 1987 годом, а первый подобный расчет относится к 1981 году.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p style="text-align: center;"><b>УТВЕРЖДАЮ</b></p> <p>Заведующий Краснодарским сектором ИСИ АН СССР, к.ф.н.<br/> <br/>         А.А. Лагуров<br/>         1987г.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p style="text-align: center;"><b>УТВЕРЖДАЮ</b></p> <p>Директор Северо-Кавказского филиала ВНИЦ "АИУС-агроресурсы", к.э.н.<br/> <br/>         Э.М. Трахов<br/>         1987г.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p><b>А К Т</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>Настоящий акт составлен комиссией в составе: Кириченко М.М., Ляшко Г.А., Самсонов Г.А., Коренец В.И., Луценко Е.В. в том, что в соответствии с договором о научно-техническом сотрудничестве между Северо-Кавказским филиалом ВНИЦ "АИУС-агроресурсы" и Краснодарским сектором Института социологических исследований АН СССР Северо-Кавказским филиалом ВНИЦ "АИУС-агроресурсы" выполнены следующие работы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- осуществлена постановка задачи: "Обработка на ЭВМ социологических анкет Крайагропрома";</li> <li>- разработаны математическая модель и программное обеспечение подсистемы распознавания образов, позволяющие решать данную задачу в среде персональной технологической системы ВЕГА-М;</li> <li>- на профессиональной персональной ЭВМ "Искра-226" осуществлены расчеты по задаче в объеме:</li> </ul> <p>Входная информация составила 425 анкет по 9-ти предприятиям.<br/>         Выходная информация – 4 вида выходных форм объемом 90 листов формата А3 и 20 листов формата А4 содержит:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- процентное распределение ответов в разрезе по социальным типам корреспондентов;</li> <li>- распределение информативностей признаков (в битах) для распознавания социальных типов корреспондентов;</li> <li>- позитивные и негативные информационные портреты 30-ти социальных типов на языке 212 признаков;</li> <li>- обобщенная характеристика информативности признаков для выбора такого минимального набора признаков, который содержит максимум информации о распознаваемых объектах (оптимизация анкет).</li> </ul> <p>Работы выполнены на высоком научно-методическом уровне и в срок.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>От ИСИ АН СССР:</p> <p>Мл.научный сотрудник<br/> <br/>         М.М. Кириченко<br/>         19.05.1987г.</p> <p>Мл.научный сотрудник<br/> <br/>         Г.А. Ляшко<br/>         19.05.1987г.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>От СКФ ВНИЦ "АИУС-агроресурсы":</p> <p>Зав.отделом аэрокосмических и тематических исследований №4, к.э.н.<br/> <br/>         Г.А. Самсонов<br/>         19.05.1987г.</p> <p>Главный конструктор проекта<br/> <br/>         В.И. Коренец<br/>         19.05.87г.</p> <p>Главный конструктор проекта<br/> <br/>         Е.В. Луценко<br/>         19.05.87г.</p> |

Но тогда SWOT-диаграммы назывались позитивным и негативным информационными портретами классов.

На рисунке 15 приведены примеры инвертированных SWOT-диаграмм, отражающих силу и направление принадлежности звезды к типу и спектральному классу на его различные характеристики

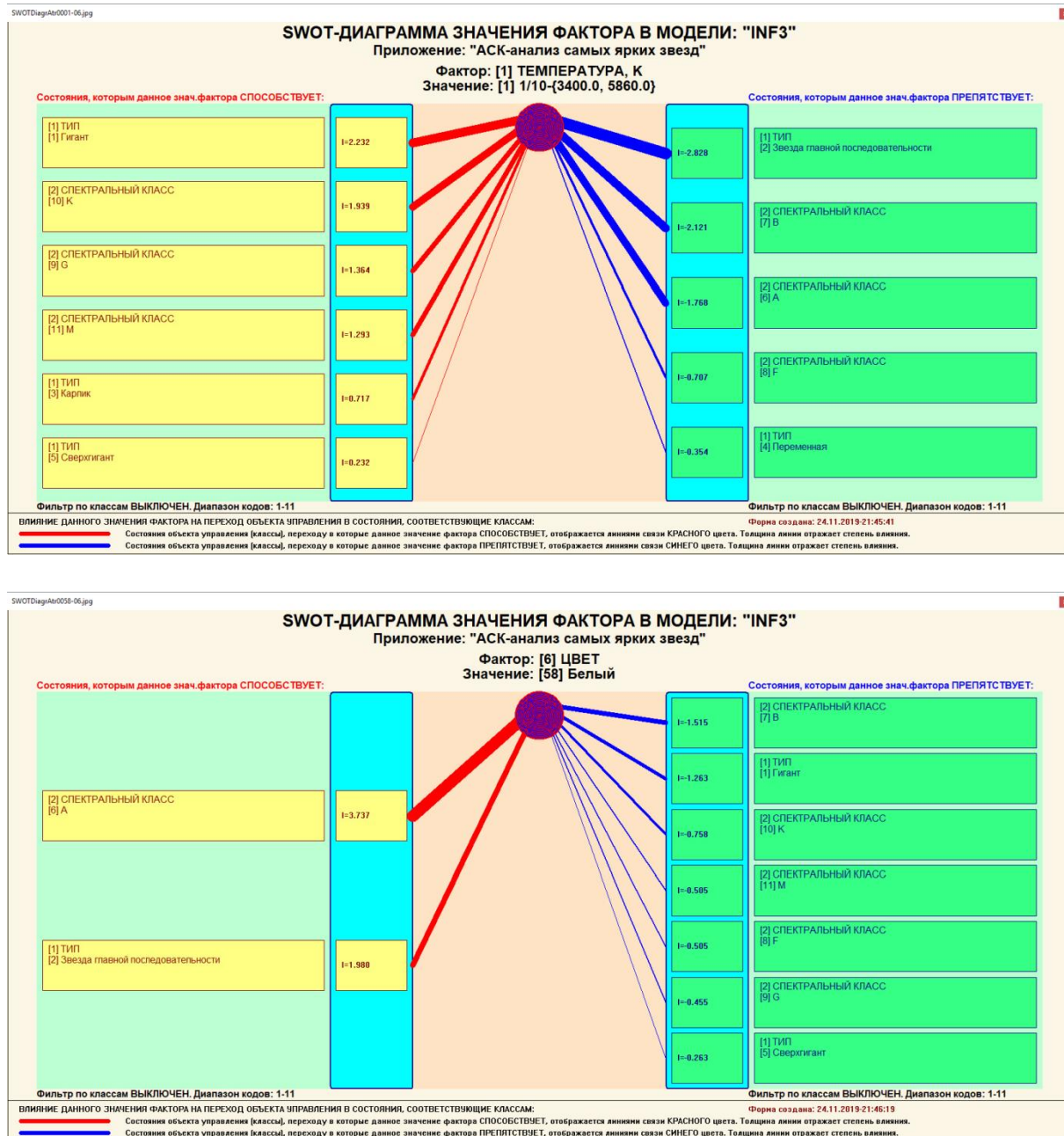


Рисунок 15. Примеры SWOT-диаграмм, отражающих силу и направление влияния принадлежности звезды к типу и спектральному классу на его различные характеристики



В заключение отметим, что SWOT-анализ является широко известным и общепризнанным методом стратегического планирования. Однако это не мешает тому, что он подвергается критике, часто вполне справедливой, обоснованной и хорошо аргументированной. В результате критического рассмотрения SWOT-анализа выявлено довольно много его слабых сторон (недостатков), источником которых чаще всего является необходимость привлечения экспертов, в частности для оценки силы и направления влияния факторов. Ясно, что эксперты это делают неформализуемым путем (интуитивно), на основе своего опыта и профессиональной компетенции. Но возможности экспертов имеют свои ограничения и часто по различным причинам они не могут и не хотят это сделать. Таким образом, возникает проблема проведения SWOT-анализа без привлечения экспертов. Эта проблема может решаться путем автоматизации функций экспертов, т.е. путем измерения силы и направления влияния факторов непосредственно на основе эмпирических данных. Подобная технология разработана давно, ей уже более 30 лет, но к сожалению она сравнительно малоизвестна – это интеллектуальная система «Эйдос» [4, 9, 10].

### ***Подзадача 4.3. Исследование моделируемой предметной области путем исследования ее модели***

Если модель предметной области достоверна, то исследование модели можно считать исследованием самого моделируемого объекта, т.е. результаты исследования модели корректно относить к самому объекту моделирования, «переносить на него».

В системе «Эйдос» есть довольно много возможностей для такого исследования, но в данной работе из-за ограничений на ее объем мы рассмотрим лишь результаты кластерно-конструктивного анализа классов и признаков (когнитивные диаграммы и дендрограммы), а также нелокальные нейроны, нелокальные нейронные сети, 3d-интегральные когнитивные карты и когнитивные функции.

#### **4.3.1. Когнитивные диаграммы классов**

Эти диаграммы отражают сходство/различие классов. Мы получаем их в режимах 4.2.2.1 и 4.2.2.2 (рисунок 16).

Отметим также, что на когнитивной диаграмме, приведенной на рисунке 16, показаны **количественные** оценки сходства/различия типов и спектральных классов звезды, полученные с применением системно-когнитивной модели, созданной непосредственно на основе эмпирических данных, а не как традиционно делается на основе экспертных оценок неформализуемым путем на основе опыта, интуиции и профессиональной компетенции.

В системе «Эйдос» есть возможность управлять параметрами формирования и вывода изображения, приведенного на рисунке 16. Для этого используется диалоговое окно, приведенное на рисунке 17.

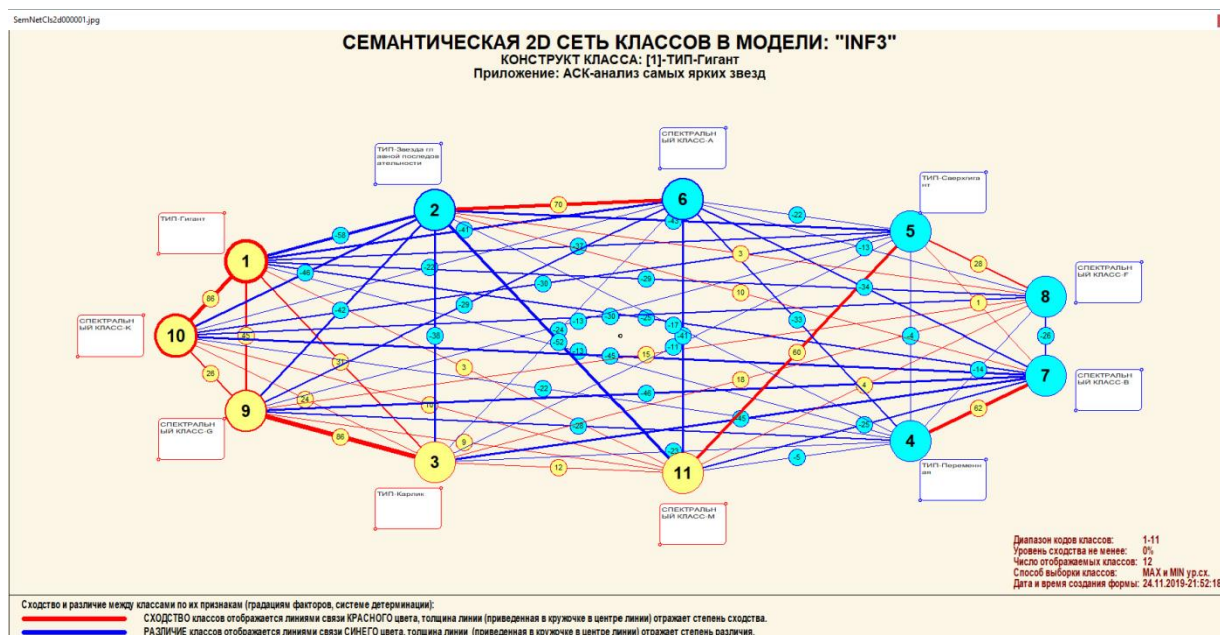


Рисунок 16. Когнитивная диаграмма классов, отражающая сходство/различие принадлежности к типу и спектральному классу по системе детерминирующих (обуславливающих) их значений различных характеристик звезды

4.2.2.2. Задание классов для отображения

Задание параметров отображения классов:

Задайте число отображаемых классов: 9999

Задайте MIN модуль уровня сходства отображаемых классов: 55

Задайте способ выбора классов для отображения:

- ☒ Классы с MAX и MIN уровнями сходства
- ☐ Классы с MAX по модулю уровнем сходства

Задайте размер изображения в пикселях (не более 4K):

Размер по X: 1024

Размер по Y: 1024

Ok Cancel

Рисунок 17. Диалоговое окно управления параметрами формирования и вывода изображения когнитивной диаграммы классов

#### 4.3.2. Агломеративная когнитивная кластеризация классов

Информация о сходстве/различии классов, содержащаяся в матрице сходства, может быть визуализирована не только в форме, когнитивных диаграмм, пример которой приведен на рисунке 16, но и в форме агломеративных дендрограмм, полученных в результате *когнитивной кластеризации* [5] (рисунок 18):

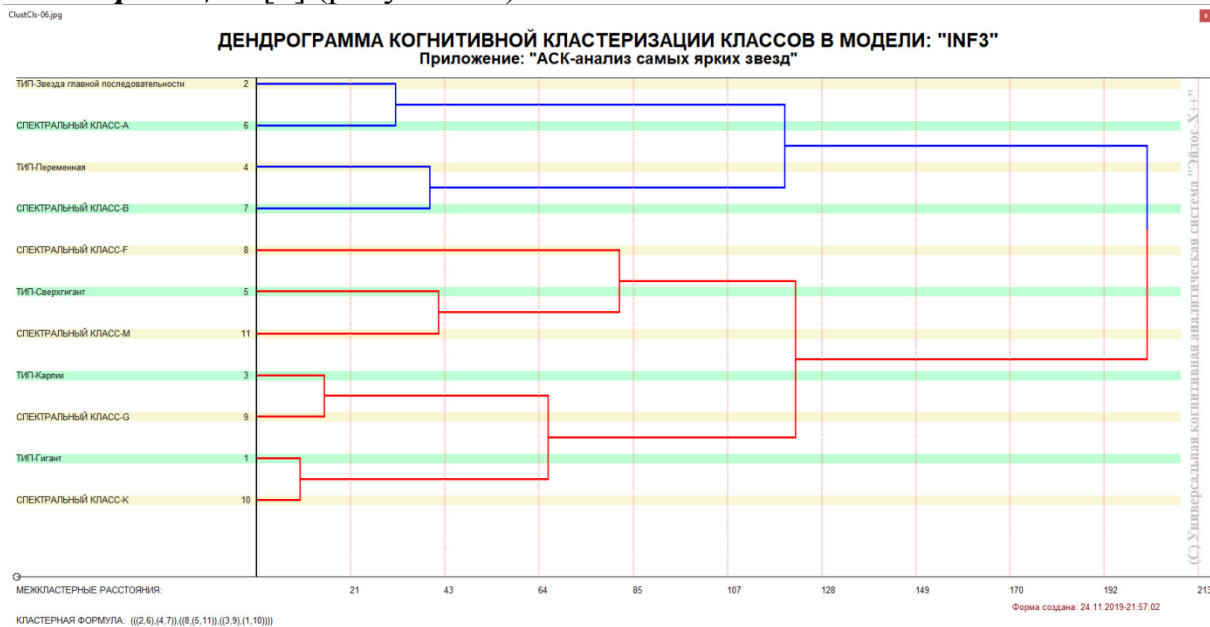


Рисунок 18. Дендрограмма когнитивной агломеративной кластеризации классов, отражающая сходство/различие принадлежности к типу и спектральному классу по системе детерминирующих (обуславливающих) их значений различных характеристик

Из рисунков 16 и 18 мы видим, что некоторые признаки принадлежности к типу и спектральному классу сходны по детерминирующей их системе значений различных характеристик, и, следовательно, корректно ставить задачу их одновременного достижения, а другие по этой системе свойств сильно отличаются, и, следовательно, являются взаимоисключающими, т.е. альтернативными и цель их одновременного достижения является некорректной и недостижимой, т.к. для достижения одного из альтернативных результатов необходимы одни характеристики, а для достижения другого – совершенно другие, которые не могут наблюдаться одновременно с первыми.

Из дендрограммы когнитивной агломеративной кластеризации классов, приведенной на рисунке 18, мы видим также, что все результаты принадлежности образуют два противоположных кластера по системе значений обуславливающих их различных характеристик, являющихся полюсами конструкта. В верхнем кластере объединены принадлежности к типам «Звезда главной последовательности» и «Переменная» и спектральным классам «А» и «В», а в нижнем – к типам «Сверхгигант»,

«Карлик», «Гигант» и спектральным классам «F», «M», «G», «K». Из этого можно сделать вывод о том, что наибольшее количество звезд типа «Звезда главной последовательности» содержит спектральный класс «A», а типа «Сверхгигант» - «M»

На рисунке 19 мы видим график изменения межкластерных расстояний:

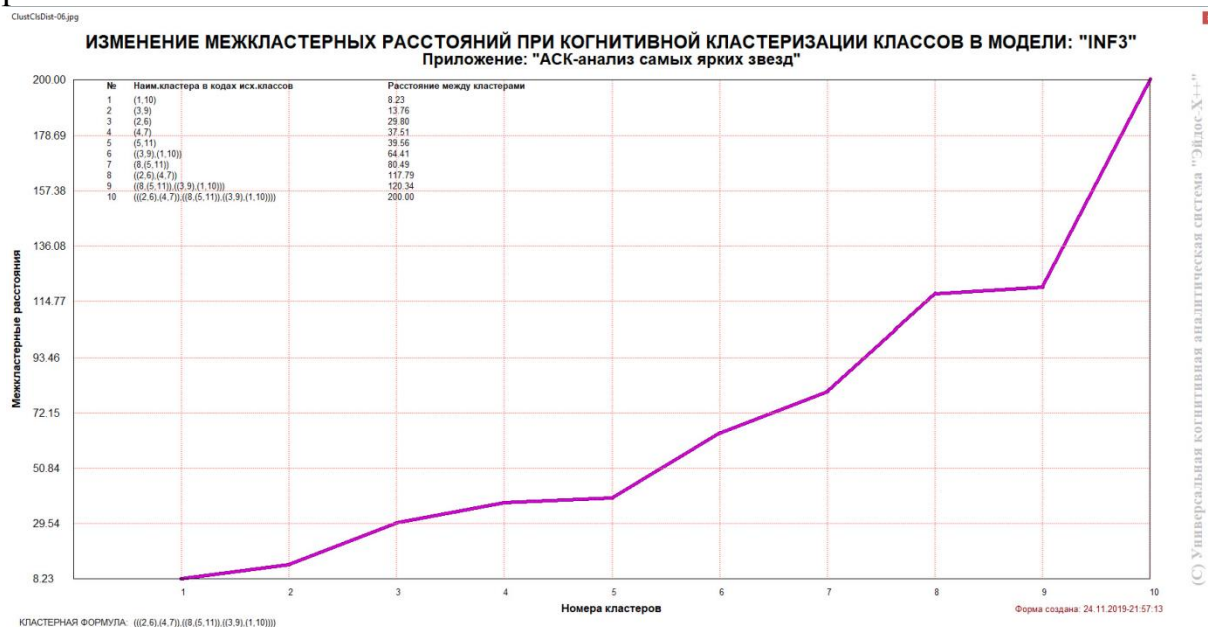


Рисунок 19. График изменения межкластерных расстояний

#### 4.3.3. Когнитивные диаграммы значений факторов

Эти диаграммы отражают сходство/различие различных характеристик по их смыслу, т.е. по содержащейся в них информации о типе и спектральному классу звезды с этими свойствами. Эти диаграммы мы получаем в режимах 4.3.2.1 и 4.3.2.2 (рисунок 20).

Из рисунка 20 видно, что все физические свойства образуют два крупных кластера, противоположных по их смыслу. Эти кластеры образуют полюса конструкта.

Отметим, что на когнитивной диаграмме, приведенной на рисунке 20, показаны **количественные** оценки сходства/различия значений факторов, полученные с применением системно-когнитивной модели, созданной непосредственно на основе эмпирических данных, а не как традиционно делается на основе экспертных оценок неформализуемым путем на основе опыта, интуиции и профессиональной компетенции.

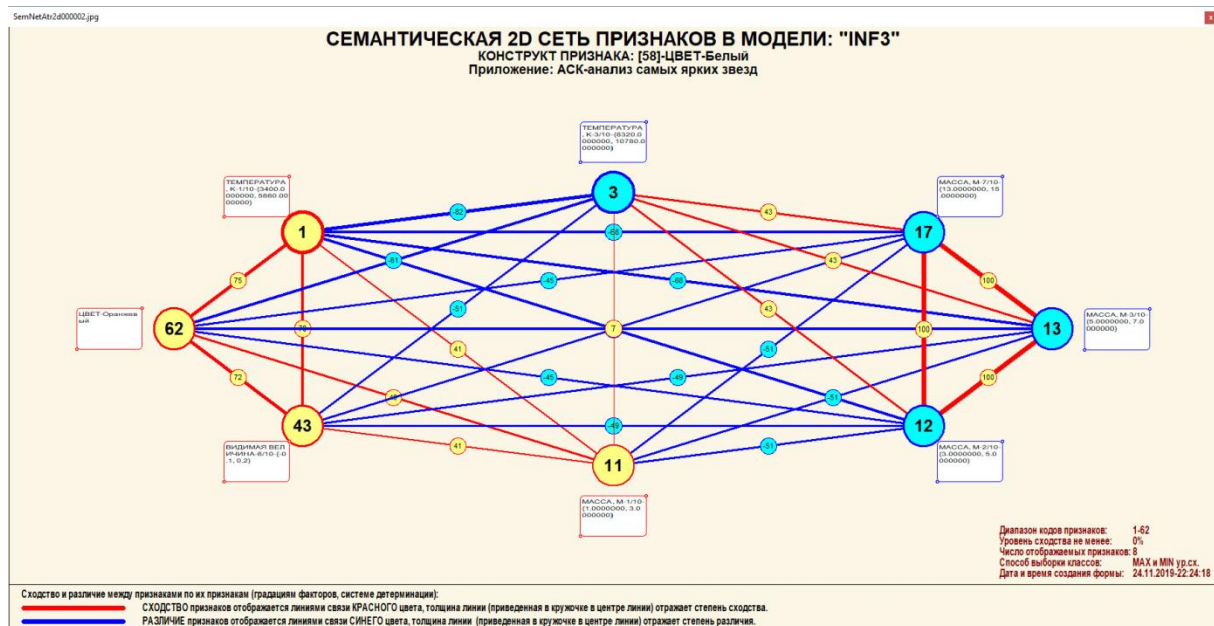


Рисунок 20. Когнитивная диаграмма и конструкт значений различных характеристик по их смыслу, т.е. по содержащейся в них информации о принадлежности к типу и спектральному классу

Диаграмма, приведенная на рисунке 20, получена при параметрах, приведенных на рисунке 21.

4.3.2.2. Задание признаков для отображения

Задание параметров отображения признаков:

Задайте число отображаемых признаков: 8

Задайте MIN модуль уровня сходства отображаемых признаков: 0

Задайте способ выбора признаков для отображения:

☒ Признаки с MAX и MIN уровнями сходства  
☐ Признаки с MAX по модулю уровнем сходства

Задайте размер изображения в пикселях (не более 4K):

Размер по X: 1800  
 Размер по Y: 900

Ok Cancel

Рисунок 21. Параметры отображения когнитивной диаграммы, приведенной на рисунке 23



#### 4.3.4. Агломеративная когнитивная кластеризация значений факторов

На рисунке 22 приведена агломеративная дендрограмма когнитивной кластеризации значений факторов и график изменения межкластерных расстояний, полученные на основе той же матрицы сходства признаков по их смыслу, что и в когнитивных диаграммах, пример которой приведен на рисунке 20.

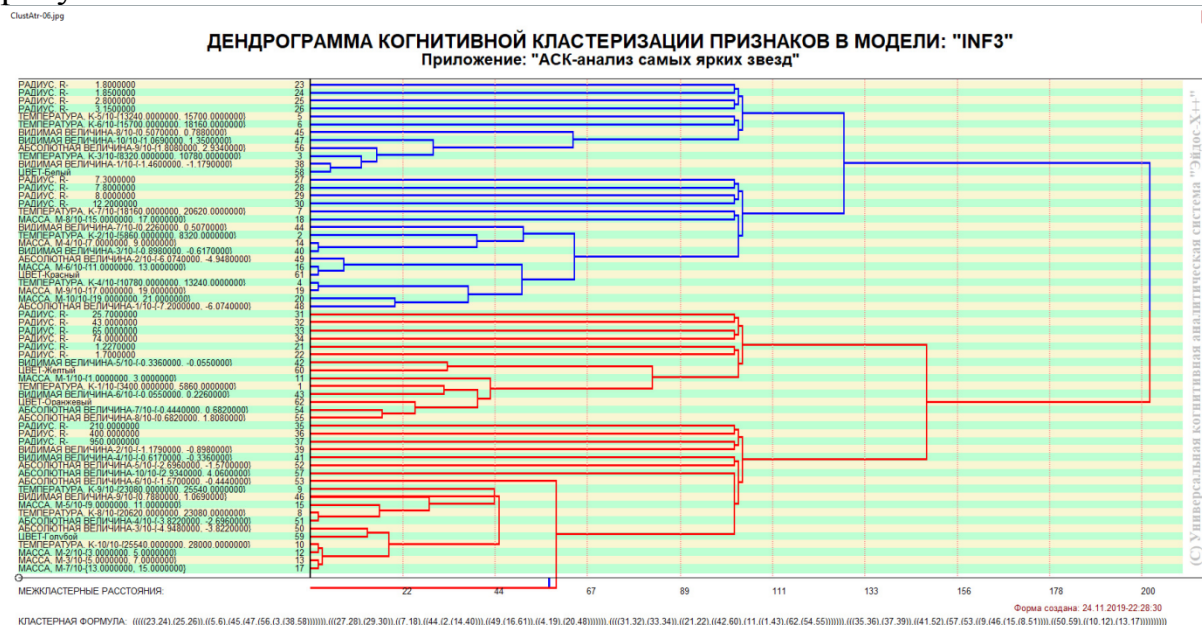


Рисунок 22. Дендрограмма агломеративной когнитивной кластеризации различных характеристик по их смыслу, т.е. по сходству/различию содержащейся в них информации о принадлежности к типу и спектральному классу

Из дендрограммы на рисунке 22 мы видим, что все значения факторов образуют 2 четко выраженных кластера, объединенных в полюса конструкта (показаны синими и красным цветами).

Хорошо видна группировка различных характеристик по детерминируемым ими принадлежности к типу и спектральному классу. **Значения факторов на полюсах конструкта факторов (рисунок 22) обуславливают переход объекта моделирования в состояния, соответствующие классам, представленным на полюсах конструкта классов (рисунки 16 и 28).**

На рисунке 23 приведен график межкластерных расстояний различных характеристик звезды.



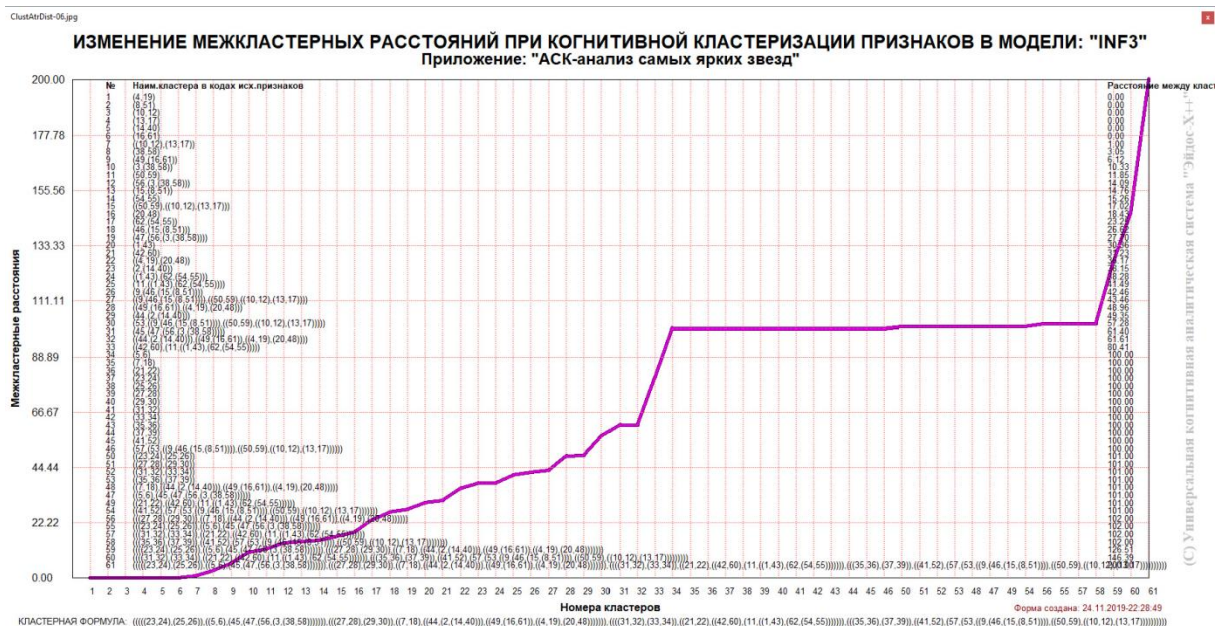


Рисунок 23. График изменения межкластерных расстояний при когнитивной кластеризации значений факторов

#### 4.3.5. Нелокальные нейроны и нелокальные нейронные сети

На рисунке 24 приведены пример нелокального нейрона, а на рисунке 25 и фрагмент одного слоя нелокальной нейронной сети:

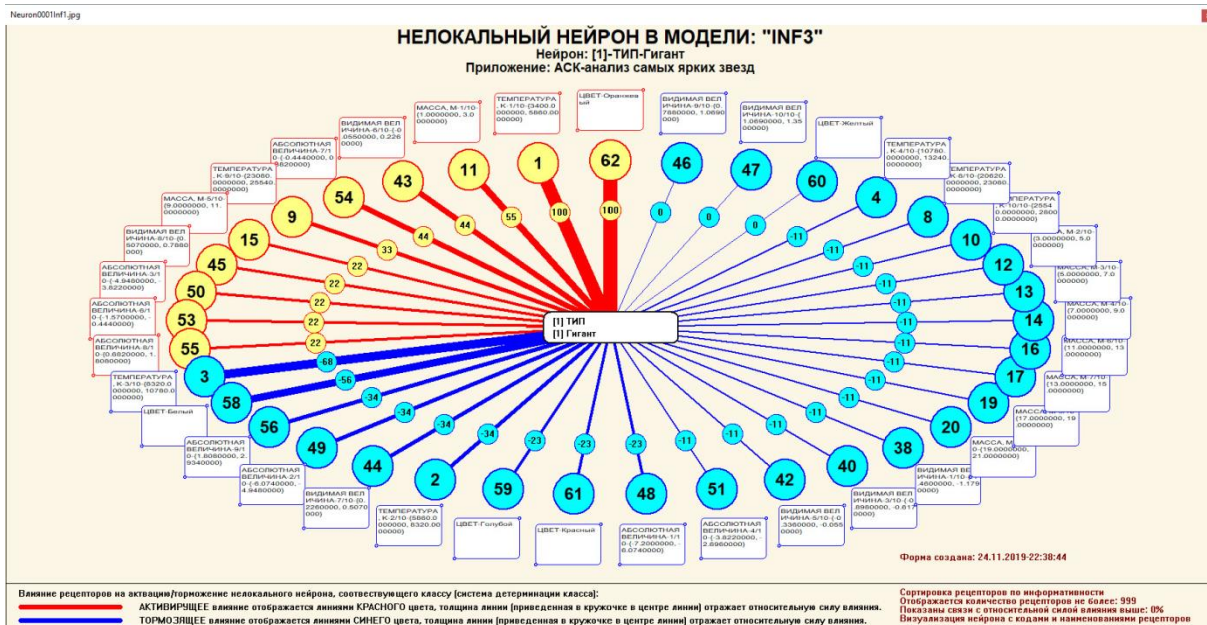


Рисунок 24. Пример нелокального нейрона, отражающего силу и направление влияния физических свойств звезды на его принадлежность к типу и спектральному классу

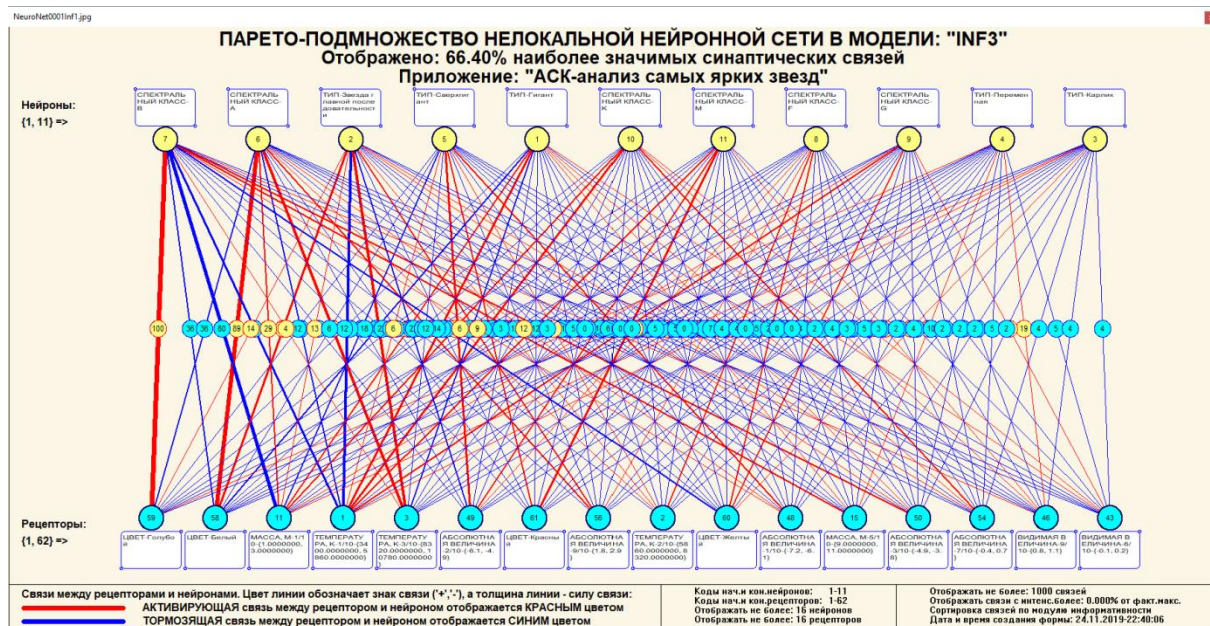


Рисунок 25. Один слой нелокальной нейронной сети, отражающий силу и направление влияния физических свойств звезды на его принадлежность к типу и спектральному классу

В приведенном фрагменте слоя нейронной сети нейроны соответствуют типам и спектральным классам, а рецепторы – различным обуславливающим эти результаты характеристикам. Нейроны расположены слева на право в порядке убывания силы детерминации, т.е. слева находятся результаты, наиболее жестко обусловленные обуславливающими их факторами, а с права – менее жестко обусловленные.

Модель знаний системы «Эйдос» относится к **нечетким декларативным** гибридным моделям и объединяет в себе некоторые особенности нейросетевой [6] и фреймовой моделей представления знаний [11]. Классы в этой модели соответствуют нейронам и фреймам, а признаки рецепторам и шпациям (описательные шкалы – слотам). От фреймовой модели представления знаний модель системы «Эйдос» отличается своей эффективной и простой программной реализацией, полученной за счет того, что разные фреймы отличаются друг от друга не набором слотов и шпаций, а лишь информацией в них. Поэтому в системе «Эйдос» при увеличении числа фреймов само количество баз данных не увеличивается, а увеличивается лишь их размерность. От нейросетевой модели представления знаний модель системы «Эйдос» отличается тем, что [6]: 1) весовые коэффициенты на рецепторах не подбираются итерационным методом обратного распространения ошибки, а считаются прямым счетом на основе хорошо теоретически обоснованной модели, основанной на теории информации (это напоминает байесовские сети); 2) весовые коэффициенты имеют хорошо теоретически обоснованную



содержательную интерпретацию, основанную на теории информации; 3) нейросеть является нелокальной, как сейчас говорят «полносвязной».

#### 4.3.6. 3d-интегральные когнитивные карты

На рисунке 26 приведен фрагмент 3d-интегральной когнитивной карты, отражающая СК-модель Inf3. 3d-интегральная когнитивная карта является отображением на одном рисунке когнитивных диаграмм классов и значений факторов, отображенных соответственно на рисунках 16 и 20, и одного слоя нейронной сети, приведенного на рисунке 25.



Рисунок 26. 3d-интегральная когнитивная карта в СК-модели Inf3

#### 4.3.7. Когнитивные функции

Вместо описания того, что представляют собой когнитивные функции, приведем help соответствующего режима системы «Эйдос» (рисунок 27) и сошлемся на работу, в которой это описано [7].

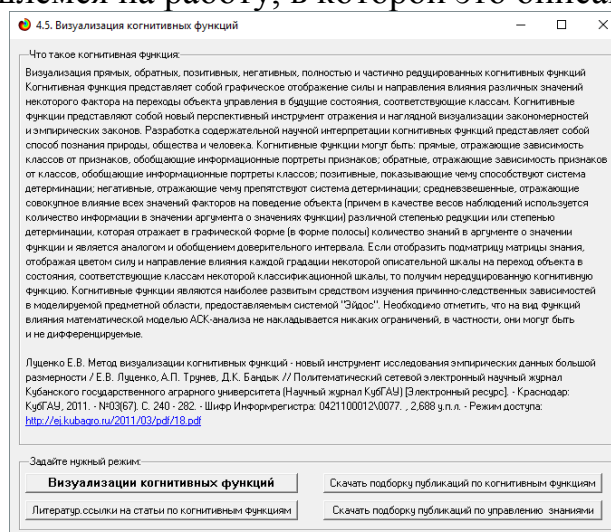
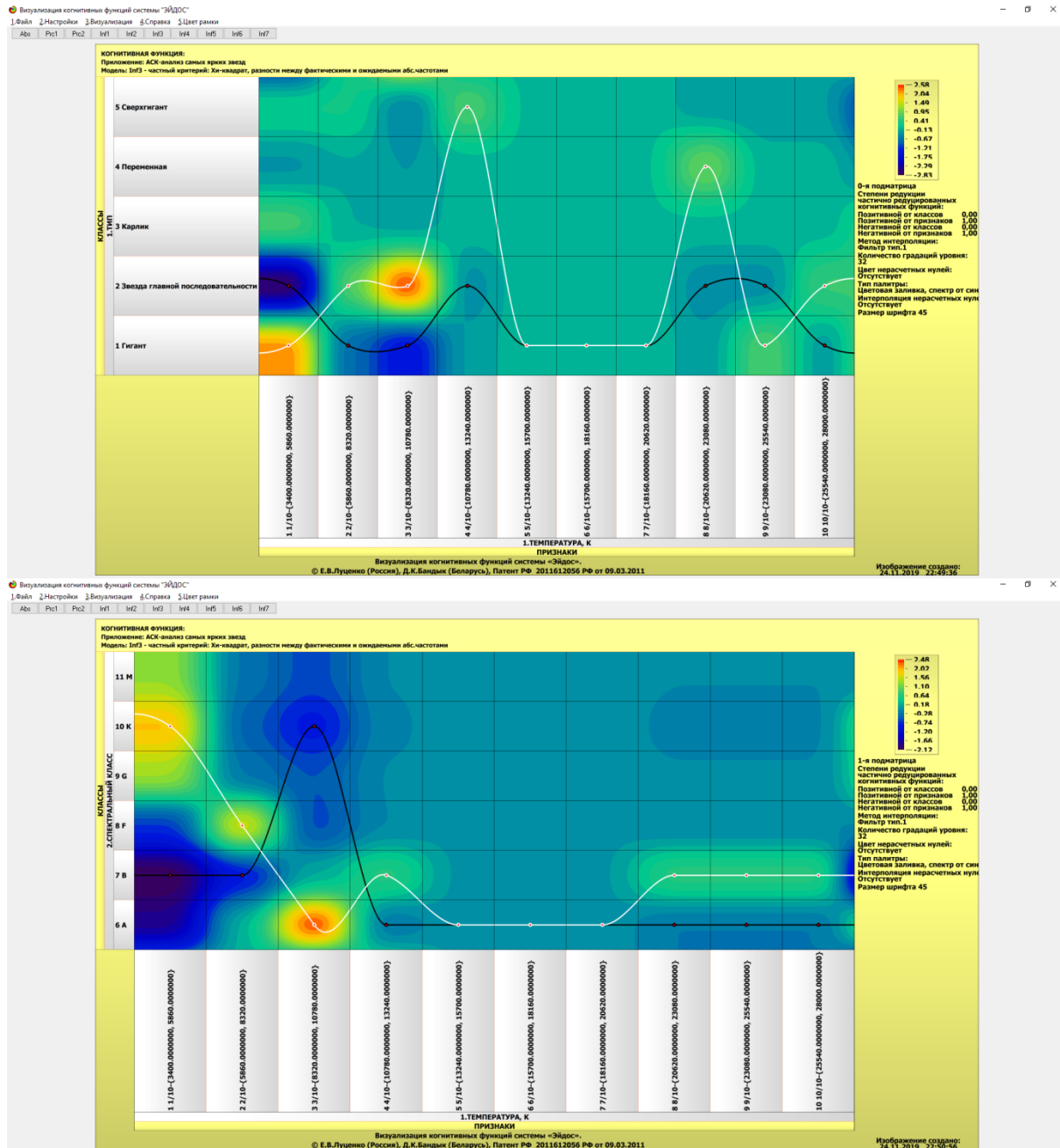


Рисунок 27. Help режима визуализации когнитивных функций

На рисунках 28<sup>2</sup> приведены примеры некоторых когнитивных функций, наглядно отражающих силу и направление влияния значений (т.е. степени выраженности) физических свойств звезд на их принадлежность к определенным типу и спектральному классу



<sup>2</sup> При увеличении масштаба просмотра когнитивные функции вполне читабельны

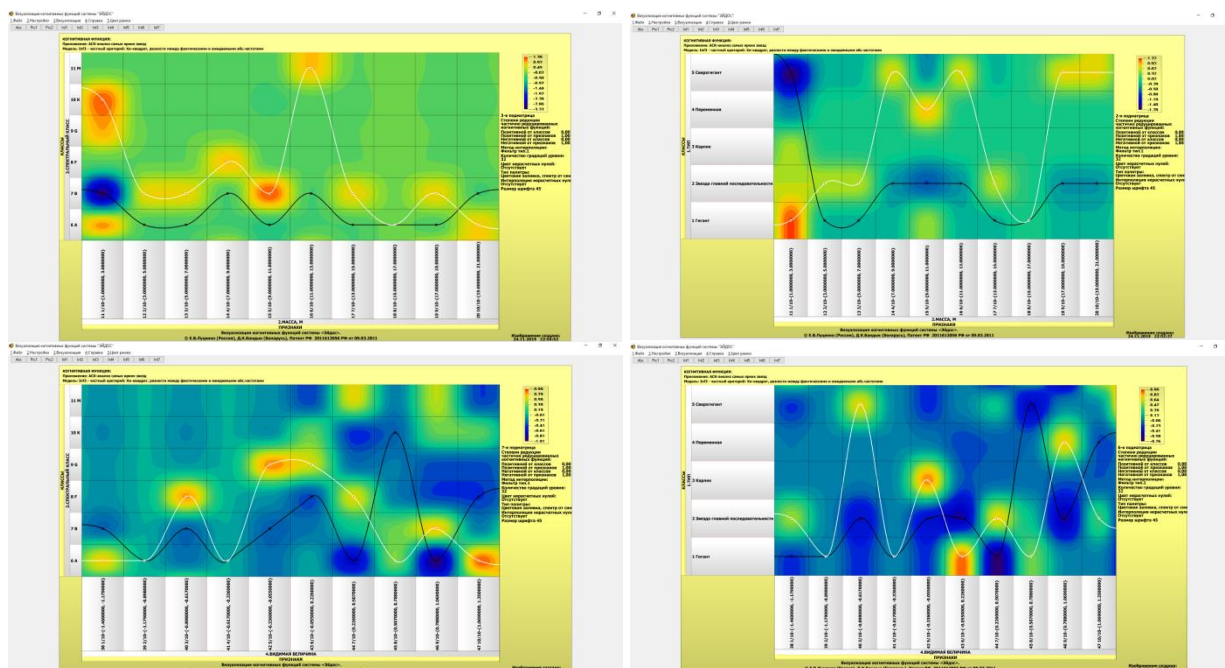


Рисунок 28. Примеры когнитивных функций, отражающих силу и направление влияния различных характеристик звезды на его принадлежность к типу и спектральному классу

Когнитивная функция представляет собой графическое отображение силы и направления влияния различных значений некоторого фактора на переходы объекта управления в будущие состояния, соответствующие классам. Когнитивные функции представляют собой новый перспективный инструмент отражения и наглядной визуализации эмпирических закономерностей и эмпирических законов. Разработка содержательной научной интерпретации когнитивных функций представляет собой способ познания природы, общества и человека. Когнитивные функции могут быть: прямые, отражающие зависимость классов от признаков, обобщающие информационные портреты признаков; обратные, отражающие зависимость признаков от классов, обобщающие информационные портреты классов; позитивные, показывающие чему способствуют система детерминации; негативные, отражающие чему препятствуют система детерминации; средневзвешенные, отражающие совокупное влияние всех значений факторов на поведение объекта (причем в качестве весов наблюдений используется количество информации в значении аргумента о значениях функции) различной степенью редукции или степенью детерминации, которая отражает в графической форме (в форме полосы) количество знаний в аргументе о значении функции и является аналогом и обобщением доверительного интервала. Если отобразить подматрицу матрицы знания, отображая цветом силу и направление влияния каждой градации некоторой описательной шкалы на переход объекта в состояния, соответствующие классам некоторой классификационной шкалы, то получим нередуцированную когнитивную

функцию. Когнитивные функции являются наиболее развитым средством изучения причинно-следственных зависимостей в моделируемой предметной области, предоставляемым системой "Эйдос". Необходимо отметить, что на вид функций влияния математической моделью АСК-анализа не накладывается никаких ограничений, в частности, они могут быть и не дифференцируемые.

#### **4.3.8. Сила и направление влияния значений характеристик и сила влияния самих характеристик на результаты принадлежности к типу и спектральному классу**

На рисунках 5, 6, 7 приведены фрагменты некоторых статистических и системно-когнитивных моделей, отражающих моделируемую предметную область.

Строки матриц моделей соответствуют значениям характеристик, т.е. степени выраженности физических свойств звезд (градации описательных шкал).

Колонки матриц моделей соответствуют различным классам, отражающим принадлежность к типу и спектральному классу (градации классификационных шкал).

Числовые значения в ячейках матриц моделей, находящихся на пересечении строк и колонок, отражают направление (знак) и силу влияния конкретного значения физического свойства звезды на получение конкретного результата принадлежности к типу и спектральному классу.

Если какое-то значение характеристики звезды слабо влияет на его принадлежность к типу или спектральному классу, то в соответствующей строке матрицы модели будут малые по модулю значения разных знаков, если же влияние сильное – то и значения будут большие по модулю разных знаков.

Если значение характеристики звезды способствует получению некоторого определенного результата его принадлежности, то в соответствующей этому результату ячейке матрицы модели будут положительные значения, если же понижает – то и значения будут отрицательные.

Из этого понятно, что суммарную силу влияния того или иного физического свойства звезды на результаты его принадлежности к типу и спектральному классу (т.е. ценность данного признака для решения задачи прогнозирования и других задач) можно количественно оценивать **степенью вариабельности значений** в строке матрицы модели, соответствующей этому значению свойства.

Существует много мер вариабельности значений: это и среднее модулей отклонения от среднего, и дисперсия, и среднеквадратичное отклонение и другие. В АСК-анализе и системе «Эйдос» для этой цели



принято использовать среднеквадратичное отклонение. Численно оно равно стандартному отклонению и вычисляется по той же формуле, но мы предпочитаем не использовать термин «стандартное отклонение», т.к. он предполагает нормальность распределения исследуемых последовательностей чисел, а значит и проверку соответствующих статистических гипотез.

Самая правая колонка в матрицах моделей на рисунках 5, 6, 7 содержит количественную оценку вариабельности значений строки модели (среднеквадратичное отклонение), которая и представляет собой ценность значения физического свойства, соответствующего строке, для решения задач прогнозирования принадлежности звезды к типу и спектральному классу и решения других задач, рассмотренных в работе.

Если рассортировать матрицу модели по этой самой правой колонке в порядке убывания, а потом просуммировать значения в ней нарастающим итогом, то получим логистическую Парето-кривую, отражающую зависимость ценности модели от числа наиболее ценных признаков в ней (рисунок 29, таблица 7).

Ценность же физического свойства (всей описательной шкалы или фактора), для решения этих задач можно количественно оценивать как среднее от ценности значений этого свойства (таблица 8).

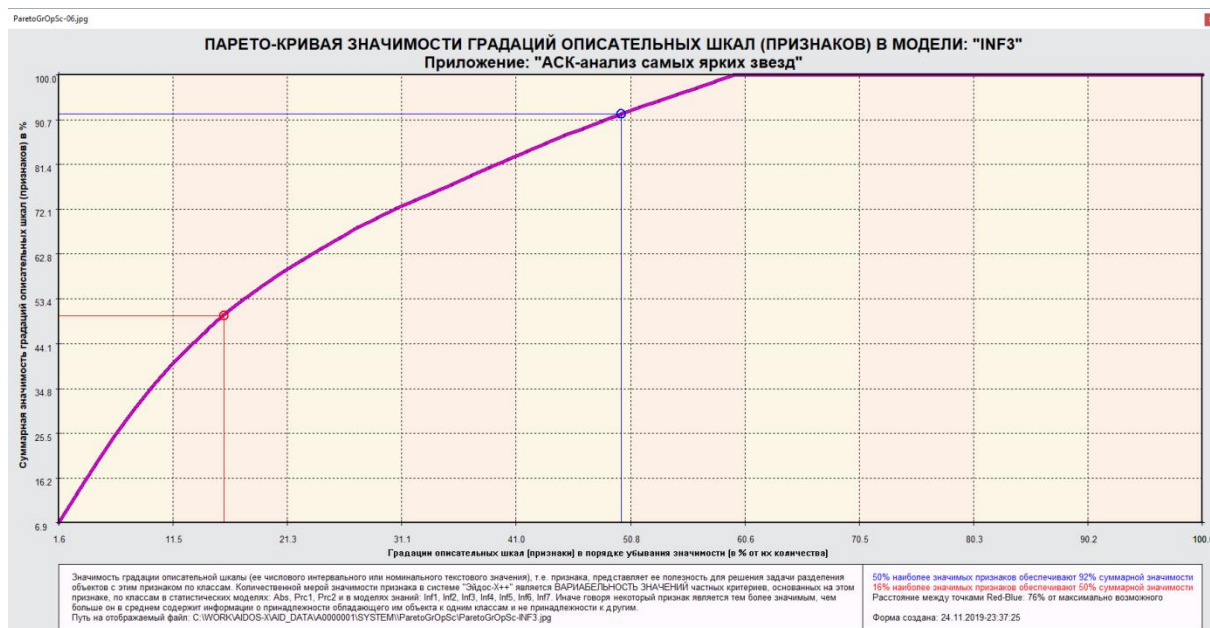


Рисунок 29. Парето-кривая значимости градаций описательных шкал

Таблица 5 – Парето-таблица значимости градаций описательных шкал, т.е. сила влияния значений различных характеристик звезды на его принадлежность к типу и спектральному классу в СК-модели INF3

| №  | Код | Наименование признака                               | Значимость признака | Значимость признака нарастающим итогом | Значимость признака (%) | Значимость признака нарастающим итогом (%) |
|----|-----|-----------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|
| 1  | 1   | ТЕМПЕРАТУРА, К-1/10-{3400.0000000, 5860.0000000}    | 1,7056476           | 1,7056476                              | 6,8795338               | 6,8795338                                  |
| 2  | 58  | ЦВЕТ-Белый                                          | 1,5245232           | 3,2301708                              | 6,1489893               | 13,0285231                                 |
| 3  | 59  | ЦВЕТ-Голубой                                        | 1,5181787           | 4,7483495                              | 6,1233995               | 19,1519226                                 |
| 4  | 11  | МАССА, М-1/10-{1.0000000, 3.0000000}                | 1,4487116           | 6,1970611                              | 5,8432119               | 24,9951345                                 |
| 5  | 3   | ТЕМПЕРАТУРА, К-3/10-{8320.0000000, 10780.0000000}   | 1,3195569           | 7,5166180                              | 5,3222813               | 30,3174158                                 |
| 6  | 62  | ЦВЕТ-Оранжевый                                      | 1,2347881           | 8,7514061                              | 4,9803760               | 35,2977918                                 |
| 7  | 49  | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-2/10-{-6.0740000, -4.9480000}   | 1,1025474           | 9,8539535                              | 4,4469984               | 39,7447902                                 |
| 8  | 60  | ЦВЕТ-Желтый                                         | 0,9679066           | 10,8218601                             | 3,9039402               | 43,6487304                                 |
| 9  | 56  | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-9/10-{1.8080000, 2.9340000}     | 0,8723905           | 11,6942506                             | 3,5186869               | 47,1674173                                 |
| 10 | 61  | ЦВЕТ-Красный                                        | 0,8473778           | 12,5416284                             | 3,4178011               | 50,5852184                                 |
| 11 | 2   | ТЕМПЕРАТУРА, К-2/10-{5860.0000000, 8320.0000000}    | 0,7368062           | 13,2784346                             | 2,9718232               | 53,5570416                                 |
| 12 | 54  | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-7/10-{0.4440000, 0.6820000}     | 0,6827416           | 13,9611762                             | 2,7537599               | 56,3108015                                 |
| 13 | 15  | МАССА, М-5/10-{9.0000000, 11.0000000}               | 0,6612421           | 14,6224183                             | 2,6670441               | 58,9778456                                 |
| 14 | 48  | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-1/10-{-7.2000000, -6.0740000}   | 0,6137060           | 15,2361243                             | 2,4753127               | 61,4531583                                 |
| 15 | 46  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-9/10-{0.7880000, 1.0690000}        | 0,5907321           | 15,8268564                             | 2,3826501               | 63,8358084                                 |
| 16 | 44  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-7/10-{0.2260000, 0.5070000}        | 0,5590889           | 16,3859453                             | 2,2550209               | 66,0908293                                 |
| 17 | 50  | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-3/10-{-4.9480000, -3.8220000}   | 0,5438998           | 16,9298451                             | 2,1937574               | 68,2845867                                 |
| 18 | 43  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-6/10-{-0.0550000, 0.2260000}       | 0,4856265           | 17,4154716                             | 1,9587187               | 70,2433054                                 |
| 19 | 42  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-5/10-{-0.3360000, -0.0550000}      | 0,4732407           | 17,8887123                             | 1,9087620               | 72,1520674                                 |
| 20 | 47  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-10/10-{1.0690000, 1.3500000}       | 0,4304974           | 18,3192097                             | 1,7363618               | 73,8884293                                 |
| 21 | 53  | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-6/10-{-1.5700000, -0.4440000}   | 0,4250593           | 18,7442690                             | 1,7144279               | 75,6028572                                 |
| 22 | 8   | ТЕМПЕРАТУРА, К-8/10-{20620.0000000, 23080.0000000}  | 0,4236889           | 19,1679579                             | 1,7089005               | 77,3117577                                 |
| 23 | 14  | МАССА, М-4/10-{7.0000000, 9.0000000}                | 0,4236889           | 19,5916468                             | 1,7089005               | 79,0206583                                 |
| 24 | 16  | МАССА, М-6/10-{11.0000000, 13.0000000}              | 0,4236889           | 20,0153357                             | 1,7089005               | 80,7295588                                 |
| 25 | 40  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-3/10-{-0.8980000, -0.6170000}      | 0,4236889           | 20,4390246                             | 1,7089005               | 82,4384593                                 |
| 26 | 51  | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-4/10-{-3.8220000, -2.6960000}   | 0,4236889           | 20,8627135                             | 1,7089005               | 84,1473599                                 |
| 27 | 55  | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-8/10-{0.6820000, 1.8080000}     | 0,4202797           | 21,2829932                             | 1,6951499               | 85,8425098                                 |
| 28 | 20  | МАССА, М-10/10-{19.0000000, 21.0000000}             | 0,3862761           | 21,6692693                             | 1,5580003               | 87,4005101                                 |
| 29 | 4   | ТЕМПЕРАТУРА, К-4/10-{10780.0000000, 13240.0000000}  | 0,3729722           | 22,0422415                             | 1,5043406               | 88,9048507                                 |
| 30 | 9   | ТЕМПЕРАТУРА, К-9/10-{23080.0000000, 25540.0000000}  | 0,3729722           | 22,4152137                             | 1,5043406               | 90,4091912                                 |
| 31 | 19  | МАССА, М-9/10-{17.0000000, 19.0000000}              | 0,3729722           | 22,7881859                             | 1,5043406               | 91,9135318                                 |
| 32 | 38  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-1/10-{-1.4600000, -1.1790000}      | 0,3448278           | 23,1330137                             | 1,3908233               | 93,3043551                                 |
| 33 | 45  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-8/10-{0.5070000, 0.7880000}        | 0,3406303           | 23,4736440                             | 1,3738932               | 94,6782483                                 |
| 34 | 10  | ТЕМПЕРАТУРА, К-10/10-{25540.0000000, 28000.0000000} | 0,3298564           | 23,8035004                             | 1,3304379               | 96,0086862                                 |
| 35 | 12  | МАССА, М-2/10-{3.0000000, 5.0000000}                | 0,3298564           | 24,1333568                             | 1,3304379               | 97,3391242                                 |
| 36 | 13  | МАССА, М-3/10-{5.0000000, 7.0000000}                | 0,3298564           | 24,4632132                             | 1,3304379               | 98,6695621                                 |
| 37 | 17  | МАССА, М-7/10-{13.0000000, 15.0000000}              | 0,3298564           | 24,7930696                             | 1,3304379               | 100,0000000                                |
| 38 | 5   | ТЕМПЕРАТУРА, К-5/10-{13240.0000000, 15700.0000000}  | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 39 | 6   | ТЕМПЕРАТУРА, К-6/10-{15700.0000000, 18160.0000000}  | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 40 | 7   | ТЕМПЕРАТУРА, К-7/10-{18160.0000000, 20620.0000000}  | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 41 | 18  | МАССА, М-8/10-{15.0000000, 17.0000000}              | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 42 | 21  | РАДИУС, R-1.2270000                                 | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 43 | 22  | РАДИУС, R-1.7000000                                 | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 44 | 23  | РАДИУС, R-1.8000000                                 | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 45 | 24  | РАДИУС, R-1.8500000                                 | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 46 | 25  | РАДИУС, R-2.8000000                                 | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 47 | 26  | РАДИУС, R-3.1500000                                 | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 48 | 27  | РАДИУС, R-7.3000000                                 | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 49 | 28  | РАДИУС, R-7.8000000                                 | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 50 | 29  | РАДИУС, R-8.0000000                                 | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 51 | 30  | РАДИУС, R-12.2000000                                | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 52 | 31  | РАДИУС, R-25.7000000                                | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 53 | 32  | РАДИУС, R-43.0000000                                | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 54 | 33  | РАДИУС, R-65.0000000                                | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 55 | 34  | РАДИУС, R-74.0000000                                | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 56 | 35  | РАДИУС, R-210.0000000                               | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 57 | 36  | РАДИУС, R-400.0000000                               | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 58 | 37  | РАДИУС, R-950.0000000                               | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 59 | 38  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-2/10-{-1.1790000, -0.8980000}      | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 60 | 41  | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА-4/10-{-0.6170000, -0.3360000}      | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 61 | 52  | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-5/10-{-2.6960000, -1.5700000}   | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |
| 62 | 57  | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА-10/10-{-2.9340000, 4.0600000}   | 0,0000000           | 24,7930696                             | 0,0000000               | 100,0000000                                |

Таблица 6 – Парето-таблица значимости описательных шкал,  
т.е. сила влияния физических свойств звезды на его принадлежность к  
определенным типу и спектральному классу  
в СК-модели INF3

| № | Код признака | Наименование признака | Значимость признака | Значимость признака нарастающим итогом | Значимость признака (%) | Значимость признака нарастающим итогом (%) |
|---|--------------|-----------------------|---------------------|----------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|
| 1 | 6            | ЦВЕТ                  | 1,2185549           | 1,2185549                              | 39,4535082              | 39,4535082                                 |
| 2 | 1            | ТЕМПЕРАТУРА, К        | 0,5261500           | 1,7447049                              | 17,0353124              | 56,4888206                                 |
| 3 | 5            | АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА   | 0,5084313           | 2,2531362                              | 16,4616288              | 72,9504494                                 |
| 4 | 2            | МАССА, М              | 0,4706149           | 2,7237511                              | 15,2372362              | 88,1876856                                 |
| 5 | 4            | ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА      | 0,3648333           | 3,0885844                              | 11,8123144              | 100,0000000                                |
| 6 | 3            | РАДИУС, R             | 0,0000000           | 3,0885844                              | 0,0000000               | 100,0000000                                |

Из таблицы 8 видно, что наиболее сильное влияние на влияние на принадлежность к определенным типу и спектральному классу оказывают такие характеристики как:

ЦВЕТ (1,2185549)  
ТЕМПЕРАТУРА, К (0,5261500)

а наименьшее:

ВИДИМАЯ ВЕЛИЧИНА (0,3648333)  
РАДИУС, R (0,0000000)

причем разница в силе влияния довольно существенная: более чем в два раза.

#### 4.3.9. Степень детерминированности принадлежности звезды к типу и спектральному классу значениями

Степень детерминированности (обусловленности) класса в системе «Эйдос» количественно оценивается *степенью вариативности значений* описательных шкал в колонке матрицы модели, соответствующей данному классу (таблица 9). На рисунке 30 мы видим Парето-кривую степени детерминированности классов нарастающим итогом.

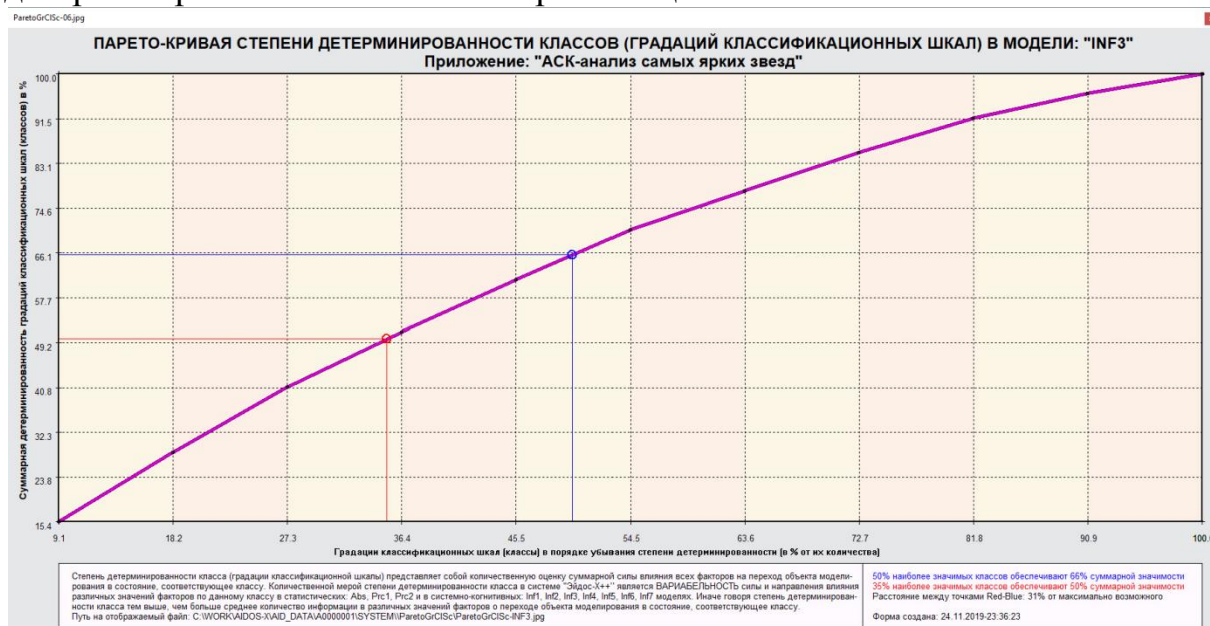


Рисунок 30. Парето-кривая степени детерминированности классов

Таблица 7 – Парето-таблица степеней детерминированности (обусловленности) классов в СК-модели INF3, т.е. принадлежность к типу и спектральному классу

| №  | Код | Наименование класса                   | Код шкалы | Степень детерминированности | Сумма степени детерминированности | Степень детерминированности | Сумма степени детерминированности |
|----|-----|---------------------------------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1  | 7   | СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС-В                  | 2         | 0,9141439                   | 0,9141439                         | 15,3703449                  | 15,3703449                        |
| 2  | 6   | СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС-А                  | 2         | 0,7799028                   | 1,6940467                         | 13,1132254                  | 28,4835703                        |
| 3  | 2   | ТИП-Звезда главной последовательности | 1         | 0,7412684                   | 2,4353151                         | 12,4636296                  | 40,9471999                        |
| 4  | 1   | ТИП-Гигант                            | 1         | 0,6154187                   | 3,0507338                         | 10,3476025                  | 51,2948024                        |
| 5  | 5   | ТИП-Сверхгигант                       | 1         | 0,5839397                   | 3,6346735                         | 9,8183170                   | 61,1131193                        |
| 6  | 10  | СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС-К                  | 2         | 0,5614479                   | 4,1961214                         | 9,4401416                   | 70,5532610                        |
| 7  | 11  | СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС-М                  | 2         | 0,4389155                   | 4,6350369                         | 7,3798913                   | 77,9331522                        |
| 8  | 8   | СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС-F                  | 2         | 0,4278347                   | 5,0628716                         | 7,1935796                   | 85,1267318                        |
| 9  | 9   | СПЕКТРАЛЬНЫЙ КЛАСС-G                  | 2         | 0,3909282                   | 5,4537998                         | 6,5730365                   | 91,6997684                        |
| 10 | 4   | ТИП-Переменная                        | 1         | 0,2774426                   | 5,7312424                         | 4,6648984                   | 96,3646668                        |
| 11 | 3   | ТИП-Карлик                            | 1         | 0,2162097                   | 5,9474521                         | 3,6353332                   | 100,0000000                       |

Из таблицы 9 мы видим, что различные характеристики наиболее сильно (жестко) детерминируют (обуславливают) среднюю спектральный классы «В» и «А», а наиболее слабо – типы «Переменная» и «Карлик». При этом степень детерминированности наиболее и наименее детерминированных классов отличается примерно в два раза, что довольно существенно.

#### 4.3.10. Устойчивость результатов принадлежности к типу и спектральному классу от значений обуславливающих их различных признаков

Устойчивость зависимостей результатов принадлежности к типу и спектральному классу от значений обуславливающих их различных признаков предполагает и подразумевает **непрерывность** и **монотонность** этих зависимостей.

**Непрерывность** зависимостей результатов принадлежности к типу и спектральному классу от значений обуславливающих их различных признаков означает, что малые изменения значений признака детерминируют малые изменения результатов принадлежности, а более значительные изменения значения признаков обуславливают и более существенные изменения результатов, т.е. степень изменения результатов принадлежности звезды к типу и спектральному классу соответствует степени изменения обуславливающих их значений физических свойств.

Если непрерывность нарушается, то незначительное изменения значения действующего фактора может привести как к малым, так и к значительным изменениям результатов, а большие изменения значений действующих факторов могут оказать как сильное, так и незначительное влияние на изменение результатов.

Если в системе управления **нарушается непрерывность управления**, то это воспринимается как ее поломка, неисправность и непригодность для выполнения своей функции.

*Например*, если нарушается непрерывность зависимости тяги двигателя машины от степени нажатия педали газа, то при плавном увеличении газа машина будет не плавно разгоняться, а начнет дергаться и может вообще заглохнуть, как это бывает у новичков, которые еще не научились правильно трогаться с места.

**Монотонность** зависимостей результатов принадлежности от обуславливающих их факторов означает, что:

- если фактор **способствует** получению результатов: увеличение значения фактора приводит к увеличению результатов принадлежности;
- если фактор **препятствует** получению результатов: увеличение значения фактора приводит к уменьшению результатов принадлежности.

Монотонность управления характерна для **линейных** систем управления и нарушается в **нелинейных** системах управления [12]. Система управления является линейной, если для нее выполняется **принцип суперпозиции**, т.е. результат совместного действия на нее совокупности факторов является **суммой** действий каждого из них по отдельности [12].

Если в системе управления **нарушается монотонность управления**, то это может приводить к тому, что при увеличении значения фактора результат может сначала увеличиваться практически пропорционально степени увеличения этого значения, затем **скорость** увеличения результата начинает уменьшаться и затем стабилизируется, а при дальнейшем увеличении значения фактора результат начинает уменьшаться вплоть до нуля или даже отрицательных значений (например, вместо прибыли получены убытки). По сути, **при нарушении монотонности управления меняется знак первой производной результата управления по значению фактора, нарушается знакоопределенность этой первой производной**<sup>3</sup>. Понятно, что **немонотонные функции не являются непрерывными**.

Принципиальный вид кривой влияния интенсивности фактора на результат в нелинейной системе при этом получается очень похожий у всех факторов (для примера на рисунке 31 показаны 3 из них):

---

<sup>3</sup> Это вызывает ассоциации с классическим понятием устойчивости управления по Ляпунову.



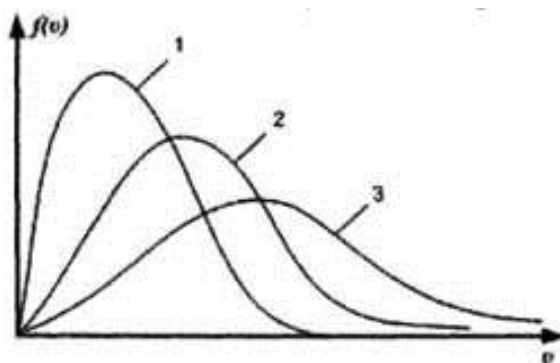


Рисунок 31. Принципиальный вид кривой влияния интенсивности фактора на нелинейный объект управления<sup>4</sup>.

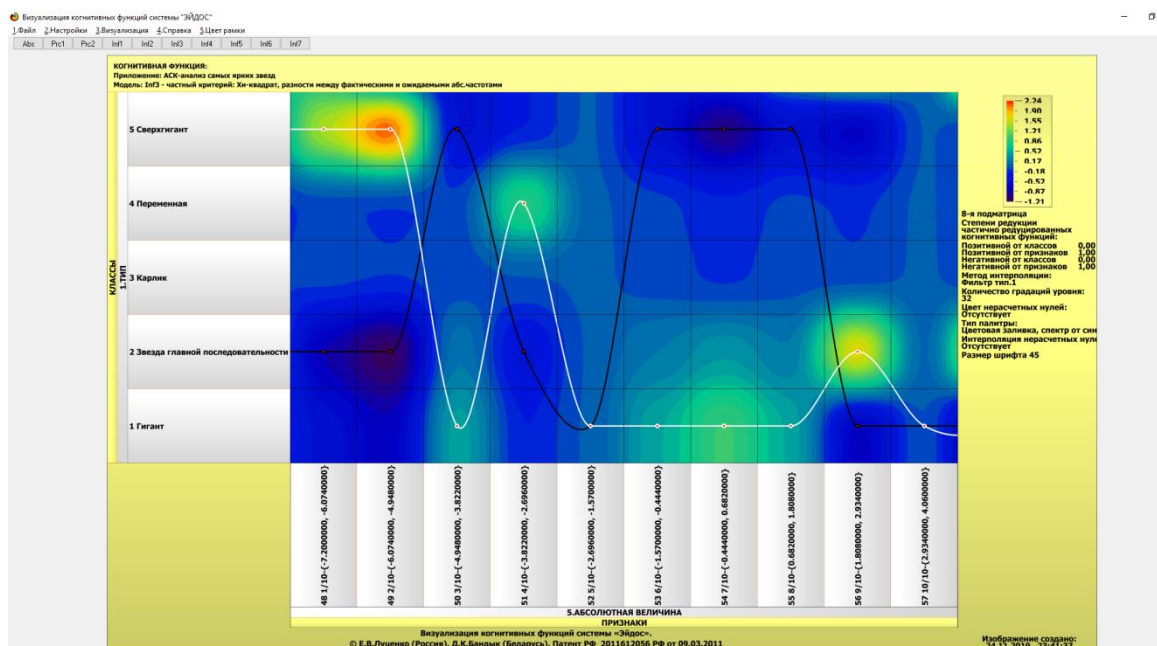
**Нарушение монотонности** управления может приводить к *различным видам зависимостей* результатов от значений управляющих факторов: это могут быть зависимости, типа показанных на рисунке 31; *периодические* зависимости (ярким примером является таблица Д.И.Менделеева, в которой свойства химических элементов изменяются периодически при линейном увеличении заряда ядра), а также сложные зависимости, в которых трудно найти какую-либо закономерность (напоминающие *случайные*).

Таким образом у нас есть все основания все разделить все факторы, действующие на результаты принадлежности, относящиеся к одной классификационной шкале, на **три основные группы**:

1. **Способствующие** получению более высоких результатов (рисунок 32).
2. **Препятствующие** получению более высоких результатов (рисунок 33).
3. **Действующие сложным и неоднозначным образом** (случайным нелинейным или периодическим) (рисунок 34).

<sup>4</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 нелинейные объекты управления

А)



Б)

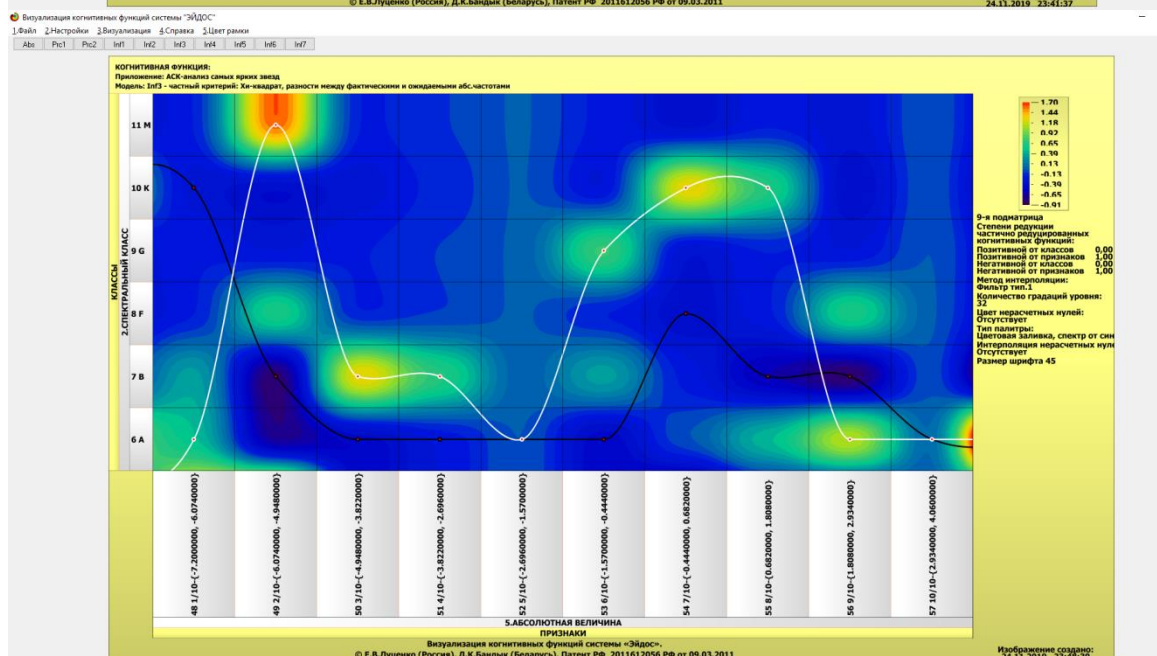
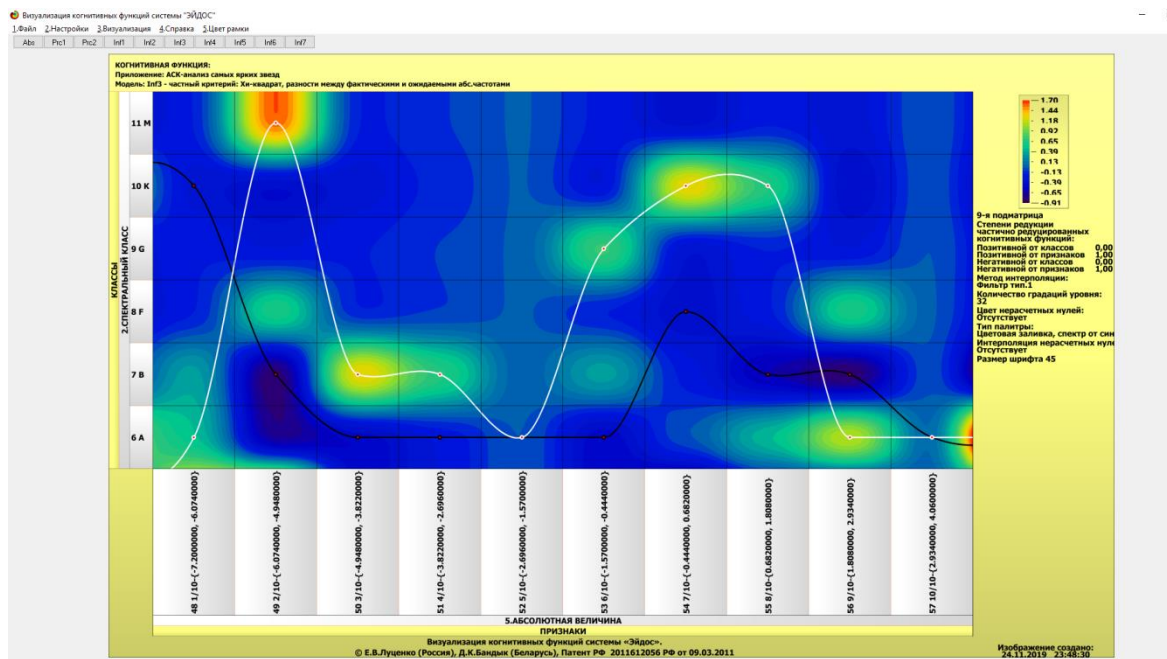


Рисунок 32. Примеры непрерывных монотонных когнитивных функций с факторами, *способствующими* получению более высоких результатов

А)



Б)

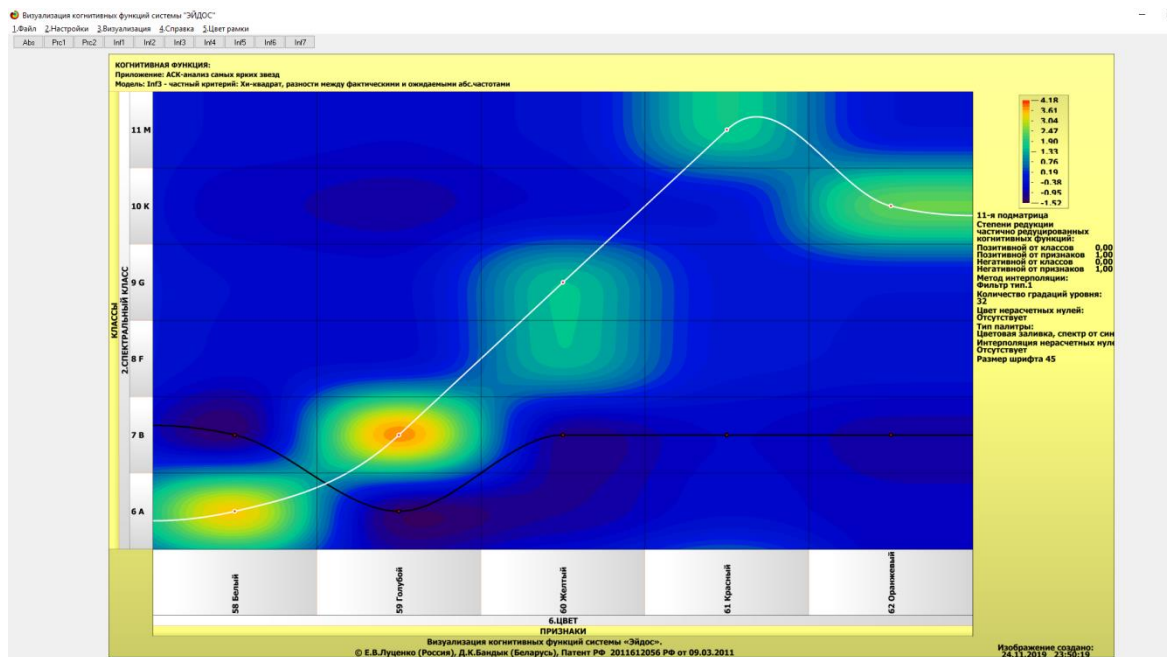
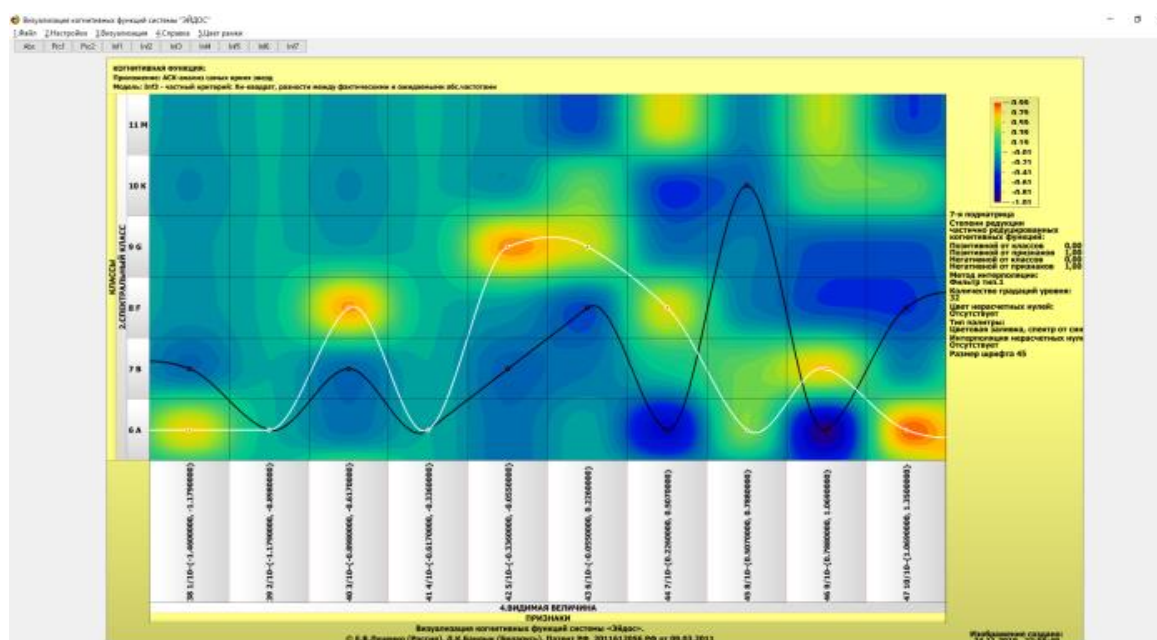


Рисунок 33. Примеры непрерывных монотонных когнитивных функций с факторами, *препятствующими* получению более высоких результатов

A)



Б)

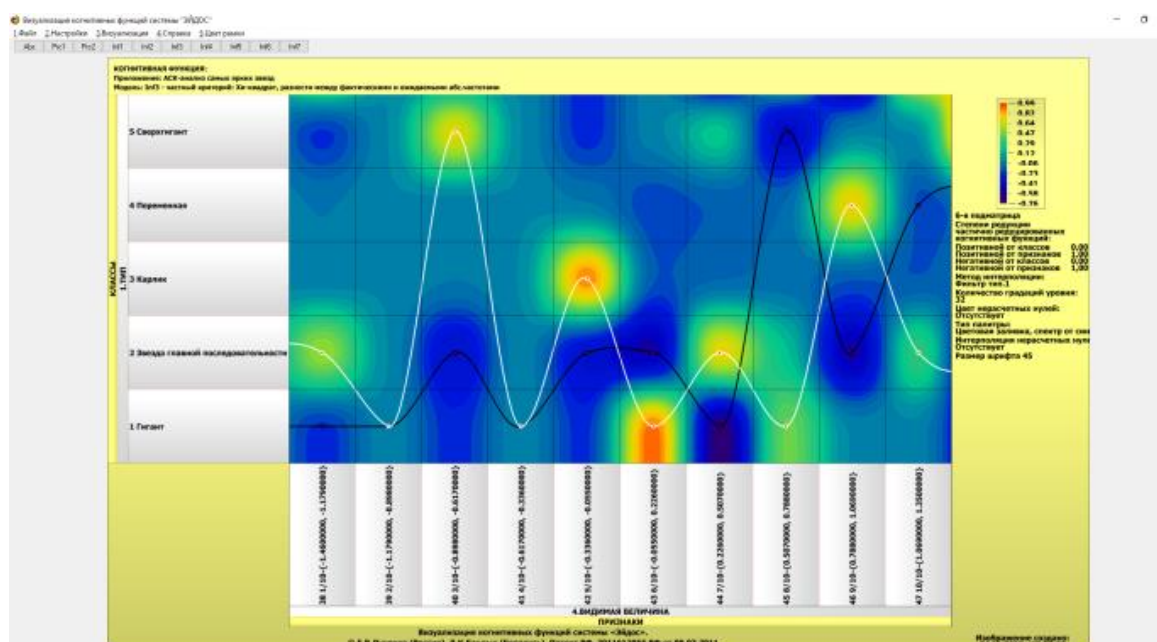


Рисунок 34. Примеры немонотонных когнитивных функций с факторами, действующие сложным и неоднозначным образом (нелинейным и периодическим)

На рисунке 34А когнитивная функция по виду похожую на приведенную на рисунке 31, а на 34Б – очевидно напоминает периодическую зависимость. Конечно содержательно интерпретировать и объяснить подобные зависимости сложнее, чем приведенные на рисунках 32 и 33.



## 7. Выводы

Как показывает анализ результатов численного эксперимента предложенное и реализованное в системе «Эйдос» решение поставленных задач является вполне эффективным, что позволяет обоснованно утверждать, что цель работы достигнута, проблема решена.

В результате проделанной работы, с помощью системы «Эйдос» были созданы 3 статистические и 7 системно-когнитивных моделей, в которых непосредственно на основе эмпирических данных сформированы обобщенные образы классов по результатам принадлежности звезды к типу и спектральному классу, изучено влияние значений различных характеристик на эти результаты, и, на основе этого, решены задачи идентификации, принятия решений и исследования моделируемой предметной области путем исследования ее модели.

Со всеми моделями, созданными в данной статье, можно ознакомиться установив облачное Эйдос-приложение №179 в режиме 1.3 системы «Эйдос».

## Список литературы

1. 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. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18632909>
2. Луценко Е.В. Метризация измерительных шкал различных типов и совместная сопоставимая количественная обработка разнородных факторов в системно-когнитивном анализе и системе «Эйдос» / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №08(092). С. 859 – 883. – IDA [article ID]: 0921308058. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/58.pdf>, 1,562 у.п.л.
3. Луценко Е.В. Инвариантное относительно объемов данных нечеткое мультиклассовое обобщение F-меры достоверности моделей Ван Ризбергена в АСК-анализе и системе «Эйдос» / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №02(126). С. 1 – 32. – IDA [article ID]: 1261702001. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/02/pdf/01.pdf>, 2 у.п.л.
4. Луценко Е.В. Количественный автоматизированный SWOT- и PEST-анализ средствами АСК-анализа и интеллектуальной системы «Эйдос-X++» / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №07(101). С. 1367 – 1409. – IDA [article ID]: 1011407090. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/90.pdf>, 2,688 у.п.л.
5. Луценко Е.В. Метод когнитивной кластеризации или кластеризация на основе знаний (кластеризация в системно-когнитивном анализе и интеллектуальной системе «Эйдос») / Е.В. Луценко, В.Е. Коржаков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный



журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – №07(071). С. 528 – 576. – Шифр Информрегистра: 0421100012\0253, IDA [article ID]: 0711107040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/07/pdf/40.pdf>, 3,062 у.п.л.

6. Луценко Е.В. Системная теория информации и нелокальные интерпретируемые нейронные сети прямого счета / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2003. – №01(001). С. 79 – 91. – IDA [article ID]: 0010301011. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2003/01/pdf/11.pdf>, 0,812 у.п.л.

7. Орлов А.И., Луценко Е.В. Системная нечеткая интервальная математика. Монография (научное издание). – Краснодар, КубГАУ. 2014. – 600 с. ISBN 978-5-94672-757-0. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21358220>

8. Луценко Е.В., Открытая масштабируемая интерактивная интеллектуальная on-line среда «Эйдос» («Эйдос-online»). Свид. РосПатента РФ на программу для ЭВМ, Заявка № 2017618053 от 07.08.2017, Гос.рег.№ 2017661153, зарегистр. 04.10.2017. – Режим доступа: <http://lc.kubagro.ru/aidos/2017661153.jpg>, 2 у.п.л.

9. Луценко Е.В. Открытая масштабируемая интерактивная интеллектуальная on-line среда для обучения и научных исследований на базе АСК-анализа и системы «Эйдос» / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №06(130). С. 1 – 55. – IDA [article ID]: 1301706001. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/06/pdf/01.pdf>, 3,438 у.п.л. [http://lc.kubagro.ru/aidos/Presentation\\_Aidos-online.pdf](http://lc.kubagro.ru/aidos/Presentation_Aidos-online.pdf)

10. Луценко Е. В., Лойко В. И., Лаптев В. Н. Системы представления и приобретения знаний : учеб. пособие / Е. В. Луценко, В. И. Лойко, В. Н. Лаптев. – Краснодар : Экоинвест, 2018. – 513 с. ISBN 978-5-94215-415-8. <https://elibrary.ru/item.asp?id=35641755>

11. 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.

### Spisok literatury`

1. Lucenko E.V. Avtomatizirovanny`j sistemno-kognitivny`j analiz v upravlenii aktivny`mi ob`ektami (sistemnaya teoriya informacii i ee primenenie v issledovanii e`konomicheskix, social`no-psixologicheskix, texnologicheskix i organizacionno-texnicheskix sistem): Monografiya (nauchnoe izdanie). – Krasnodar: KubGAU. 2002. – 605 s. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18632909>

2. Lucenko E.V. Metrizaciya izmeritel`ny`x shkal razlichny`x tipov i sovmestnaya sopostavimaya kolichestvennaya obrabotka raznorodny`x faktorov v sistemno-kognitivnom analize i sisteme «E`jdos» / E.V. Lucenko // Politematicheskij setевой e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchny`j zhurnal KubGAU) [E`lektronny`j resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №08(092). S. 859 – 883. – IDA [article ID]: 0921308058. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf/58.pdf>, 1,562 у.п.л.

3. Lucenko E.V. Invariantnoe otnositel'no ob`emov danny`x nechetkoe mul'tiklassovoe obobshhenie F-mery` dostovernosti modelej Van Rizbergena v ASK-analize i sisteme «E`jdos» / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchny`j zhurnal KubGAU) [E`lektronny`j resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – №02(126). S. 1 – 32. – IDA [article ID]: 1261702001. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2017/02/pdf/01.pdf>, 2 u.p.l.

4. Lucenko E.V. Kolichestvenny`j avtomatizirovanny`j SWOT- i PEST-analiz sredstvami ASK-analiza i intellektual'noj sistemy` «E`jdos-X++» / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchny`j zhurnal KubGAU) [E`lektronny`j resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №07(101). S. 1367 – 1409. – IDA [article ID]: 1011407090. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/90.pdf>, 2,688 u.p.l.

5. Lucenko E.V. Metod kognitivnoj klasterizacii ili klasterizaciya na osnove znaniy (klasterizaciya v sistemno-kognitivnom analize i intellektual'noj sisteme «E`jdos») / E.V. Lucenko, V.E. Korzhakov // Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchny`j zhurnal KubGAU) [E`lektronny`j resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2011. – №07(071). S. 528 – 576. – Shifr Informregistra: 0421100012\0253, IDA [article ID]: 0711107040. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2011/07/pdf/40.pdf>, 3,062 u.p.l.

6. Lucenko E.V. Sistemnaya teoriya informacii i nelokal'ny`e interpretiruemy`e nejronny`e seti pryamogo scheta / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchny`j zhurnal KubGAU) [E`lektronny`j resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2003. – №01(001). S. 79 – 91. – IDA [article ID]: 0010301011. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2003/01/pdf/11.pdf>, 0,812 u.p.l.

7. Orlov A.I., Lucenko E.V. Sistemnaya nechetkaya interval'naya matematika. Monografiya (nauchnoe izdanie). – Krasnodar, KubGAU. 2014. – 600 s. ISBN 978-5-94672-757-0. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21358220>

8. Lucenko E.V., Otkry`taya masshtabiruemaya interaktivnaya intellektual'naya on-line sreda «E`jdos» («E`jdos-online»). Svid. RosPatenta RF na programmu dlya E`VM, Zayavka № 2017618053 ot 07.08.2017, Gos.reg.№ 2017661153, zaregistr. 04.10.2017. – Rezhim dostupa: <http://lc.kubagro.ru/aidos/2017661153.jpg>, 2 u.p.l.

9. Lucenko E.V. Otkry`taya masshtabiruemaya interaktivnaya intellektual'naya on-line sreda dlya obucheniya i nauchny`x issledovanij na baze ASK-analiza i sistemy` «E`jdos» / E.V. Lucenko // Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchny`j zhurnal KubGAU) [E`lektronny`j resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2017. – №06(130). S. 1 – 55. – IDA [article ID]: 1301706001. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2017/06/pdf/01.pdf>, 3,438 u.p.l. [http://lc.kubagro.ru/aidos/Presentation\\_Aidos-online.pdf](http://lc.kubagro.ru/aidos/Presentation_Aidos-online.pdf)

10. Lucenko E. V., Lojko V. I., Laptev V. N. Sistemy` predstavleniya i priobreteniya znaniy : ucheb. posobie / E. V. Lucenko, V. I. Lojko, V. N. Laptev. – Krasnodar : E`koinvest, 2018. – 513 s. ISBN 978-5-94215-415-8. <https://elibrary.ru/item.asp?id=35641755>

11. Lucenko E.V. Modelirovanie slozhny`x mnogofaktorny`x nelinejny`x ob`ektov upravleniya na osnove fragmentirovanny`x zashumlenny`x e`mpiricheskix danny`x bol`shoj razmernosti v sistemno-kognitivnom analize i intellektual'noj sisteme «E`jdos-X++» / E.V. Lucenko, V.E. Korzhakov // Politematicheskij setevoy e`lektronny`j nauchny`j zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchny`j zhurnal KubGAU) [E`lektronny`j resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №07(091). S. 164 – 188. – IDA [article ID]: 0911307012. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/12.pdf>, 1,562 u.p.l.