

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)**

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
*Математических методов исследования операций*  
Азарнова Т.В.  
22.04.2022

30

22.04.2022

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

## Б1.В.06. Нечеткая логика и интеллектуальные системы

## **9. Цели и задачи учебной дисциплины:**

Целью освоения учебной дисциплины является приобретение знаний в области систем искусственного интеллекта (ИИ) и принятия решений (ПР); современных научных и практических методов проектирования и разработки интеллектуальных информационных систем для разных предметных областей; изучения современного состояния теории нечеткой логики, мягких вычислений и интеллектуальных систем на базе инструментов нечеткой логики.

### Задачи учебной дисциплины:

- ознакомить с концепциями и методами, составляющими основу для понимания современных достижений искусственного интеллекта;
- ознакомить с современными областями исследования по искусственному интеллекту;
- ознакомить с основными моделями представления знаний;
- ознакомить с основными методами построения и использования интеллектуальных информационных систем (в том числе в экономике), прикладными задачами применения искусственного интеллекта, теоретическими и организационно-экономическим вопросами построения и функционирования систем, основанных на знаниях;
- сформировать знания по основным разделам теории нечетких множеств;
- освоить методы обработки нечеткой и лингвистической информации;
- получить навыки применения моделей и методов нечеткой логики для решения прикладных задач;
- ознакомить с интеллектуальными системами, базирующимиися на моделях и методах нечеткой логики.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** Дисциплина «Нечеткая логика и интеллектуальные системы» относится к обязательным дисциплинам вариативной части базового цикла (блок Б1). Для изучения курса необходимы базовые знания дискретной математики, линейной алгебры, математического анализа, теории вероятностей, математической статистики, методов оптимизации.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	ПК-1.2.	ПК-1.2. Анализирует научно-техническую информацию, касающуюся передового отечественного и зарубежного опыта решения задач в области профессиональной деятельности	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- современные направления исследований в области искусственного интеллекта;</li><li>-основные методы и алгоритмы обработки информации средствами теории нечетких множеств и нечеткой логики;</li><li>-области применения инструментов нечеткой логики;</li><li>-программные средства для моделирования задач нечеткой логики;</li><li>-инструментальные интегрированные программные среды разработчиков для применения моделей нечетких множеств и нечеткой логики;</li></ul>

				<p>-технологию создания и использования интеллектуальных систем на базе теории нечеткой логики;</p> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работать с инструментами формализации прикладных задач на языке теории нечетких множеств и нечеткой логики;</li> <li>-использовать инструментальные функции интегрированных программных сред разработчиков нечеткой логики;</li> <li>- осуществлять проектирование интеллектуальных информационных систем, основанных на нечеткой логике;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- инструментами первичного анализа и обобщения отечественного и международного опыта в области проектирования интеллектуальных информационных систем.</li> </ul>
ПК-3	Способен осуществить выполнение экспериментов и оформить результаты исследований и разработок	ПК-3.2	ПК-3.2. Применяет при обработке данных стандартное и оригинальное программное обеспечение.	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-основные стадии проведения исследований в области проектирования интеллектуальных систем, базирующихся на инструментах нечеткой логики;</li> <li>- технологию планирования экспериментов в области решения прикладных задач с помощью интеллектуальных систем;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ставить задачи исследования с применением инструментов нечеткой логики и интеллектуальных систем,</li> <li>-осуществлять эксперименты по решению прикладных задач с применением инструментов нечеткой логики и интеллектуальных систем;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- средствами составления отчетов по результатам проведения эксперимента, направленного на решение прикладных задач с применением инструментов нечеткой логики и интеллектуальных систем</li> </ul>
ПК-5	Способен использовать современные методы разработки и реализации алгоритмов ма-	ПК-5.3	ПК-5.3 Разрабатывает и совершенствует методы анализа массивных количественных и нечисловых данных	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-методы обработки результатов исследования с применением инструментов нечеткой логики;</li> <li>-методы обработки знаний, полученных в результате работы с интеллектуальными информационными системами</li> </ul>

	шинного обучения на базе современных языков программирования и пакетов прикладных программ моделирования			мами, базирующимися на инструментах нечеткой логики; <b>Уметь:</b> -применять в исследованиях стандартное и оригинальное программное обеспечение, базирующееся на инструментах нечеткой логики. <b>Владеть:</b> -навыками работы с современными интеллектуальными информационными системами в области нечеткой логики.
--	--	--	--	--

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.(в соответствии с учебным планом) — 144/4.**

**Форма промежуточной аттестации(зачет/экзамен) экзамен**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы:**

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	Семестр 6
Контактная работа	48	48
в том числе:		
лекции	32	32
практические		
лабораторные работы	16	16
Самостоятельная работа	60	60
Промежуточная аттестация	36	36
Итого	144	144

**13.1 Содержание разделов дисциплины:**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
<b>1. Лекции</b>			

1	Базовые понятия и основные направления развития искусственного интеллекта (ИИ) и интеллектуальных систем (ИИ)	Понятие искусственного интеллекта. Основные направления развития искусственного интеллекта. Данные и знания. Свойства, характеристики знаний. Процедурные и декларативные знания. Классификация знаний по глубине, по жесткости. Формализация знаний. Формальные языки. Языки (модели) представления знаний. Классификация моделей знаний и данных. Определение интеллектуальных систем. Основные источники научно-технической информации по основным направлениям, методам, моделям и инструментальным средствам конструирования интеллектуальных систем. Формализация знаний в интеллектуальных системах (ИС). Классификация ИС. Обобщённая функциональная структура ИС. Основные (базовые) свойства и возможности. Обобщённая типология интеллектуальных систем.	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных
2	Основы нечеткого анализа	Нечеткие множества, нечеткие величины, нечеткие числа. Основные типы нечетких чисел. Операции над нечеткими числами. Сравнение нечетких чисел. Понятие нечеткой функции. Примеры прикладных задач с нечеткой информацией. Задача нечеткой кластеризации.	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных
3	Лингвистическая модель представления информации	Лингвистическая переменная. Лингвистическая шкала. Принцип «нечеткого большинства» и лингвистические кванторы. Лингвистические операторы агрегирования информации. Нечеткие системы: структура, база знаний, механизм вывода.	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных
4	Нечеткая логика	Понятие нечеткого высказывания и нечеткого предиката. Нечеткие предикаты. Основные логические операции с нечеткими высказываниями. Логическое отрицание нечетких высказываний. Логическая конъюнкция нечетких высказываний. Логическая дизъюнкция нечетких высказываний. Нечеткая импликация. Нечеткая эквивалентность. Правила нечетких продукций. Прямой и обратный методы вывода заключений в системах нечетких продукций	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных

5	Системы нечеткого вывода	Базовая архитектура систем нечеткого вывода. Основные этапы нечеткого вывода. Формирование базы правил систем нечеткого вывода. Фаззификация (Fuzzification). Агрегирование (Aggregation). Активизация (Activation). Аккумуляция (Accumulation). Дефаззификация (Defuzzification). Основные алгоритмы нечеткого вывода. Алгоритм Мамдани (Mamdani). Алгоритм Цукамото (Tsukamoto). Алгоритм Ларсена (Larsen). Алгоритм Сугено(Sugeno). Примеры использования систем нечеткого вывода в задачах управления	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных
6	Нечеткое моделирование в среде MATLAB	Основные элементы системы MATLAB. Основные приемы работы в системе MATLAB. Редактор системы нечеткого вывода FIS. Редактор функций принадлежности. Редактор правил системы нечеткого вывода. Программа просмотра правил системы нечеткого вывода. Программа просмотра поверхности системы нечеткого вывода.	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных
7	«Нечеткая кластеризация в Fuzzy Logic Toolbox»	Общая характеристика задач кластерного анализа. Задача нечеткой кластеризации и алгоритм ее решения. Общая формальная постановка задачи нечеткого кластерного анализа. Уточненная постановка задачи нечеткой кластеризации. Алгоритм решения задачи нечеткой кластеризации методом нечетких с-средних. Средства решения задачи нечеткой кластеризации в пакете Fuzzy Logic ToolBox.	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных
8	Технология создания и использования интеллектуальных систем на базе теории нечеткой логики	Наиболее распространенные интеллектуальные системы на базе теории нечеткой логике. Технология создания и использования интеллектуальных систем на базе теории нечеткой логики. Основные современные направления развития интеллектуальных систем на базе теории нечеткой логике.	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных
<b>2. Лабораторные занятия</b>			
1	Базовые понятия и основные направления развития искусственного интеллекта (ИИ) и интеллектуальных систем (ИИ)	Понятие искусственного интеллекта. Данные и знания. Свойства, характеристики знаний. Процедурные и декларативные знания. Классификация знаний по глубине, по жесткости. Формализация знаний. Формальные языки. Языки (модели) представления знаний. Классификация моделей знаний и данных. Определение интеллектуальных систем. Формализация знаний в интеллектуальных системах (ИС) Классификация ИС. Обобщённая функциональная структура ИС. Основные (базовые) свойства и возможности. Обобщённая типология интеллектуальных систем.	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных

2	Основы нечеткого анализа	Нечеткие множества, нечеткие величины, нечеткие числа. Основные типы нечетких чисел. Операции над нечеткими числами. Сравнение нечетких чисел. Понятие нечеткой функции. Примеры прикладных задач с нечеткой информацией. Задача нечеткой кластеризации.	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных
3	Лингвистическая модель представления информации	Лингвистическая переменная. Лингвистическая шкала. Принцип «нечеткого большинства» и лингвистические кванторы. Лингвистические операторы агрегирования информации. Нечеткие системы: структура, база знаний, механизм вывода.	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных
4	Нечеткая логика	Понятие нечеткого высказывания и нечеткого предиката. Нечеткие предикаты. Основные логические операции с нечеткими высказываниями. Логическое отрицание нечетких высказываний. Логическая конъюнкция нечетких высказываний. Логическая дизъюнкция нечетких высказываний. Нечеткая импликация. Нечеткая эквивалентность. Правила нечетких продуктов. Прямой и обратный методы вывода заключений в системах нечетких продуктов	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных
5	Системы нечеткого вывода	Базовая архитектура систем нечеткого вывода. Основные этапы нечеткого вывода. Формирование базы правил систем нечеткого вывода. Фаззификация (Fuzzification). Агрегирование (Aggregation). Активизация (Activation). Аккумуляция (Accumulation). Дефаззификация (Defuzzification). Основные алгоритмы нечеткого вывода. Алгоритм Мамдани (Mamdani). Алгоритм Цукамото (Tsukamoto). Алгоритм Ларсена (Larsen). Алгоритм Сугено(Sugeno). Примеры использования систем нечеткого вывода в задачах управления	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных
6	Нечеткое моделирование в среде MATLAB	Основные элементы системы MATLAB. Основные приемы работы в системе MATLAB. Редактор систем нечеткого вывода FIS. Редактор функций принадлежности. Редактор правил системы нечеткого вывода. Программа просмотра правил системы нечеткого вывода. Программа просмотра поверхности системы нечеткого вывода.	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных

7	«Нечеткая кластеризация в Fuzzy Logic Toolbox»	Общая характеристика задач кластерного анализа. Задача нечеткой кластеризации и алгоритм ее решения. Общая формальная постановка задачи нечеткого кластерного анализа. Уточненная постановка задачи нечеткой кластеризации. Алгоритм решения задачи нечеткой кластеризации методом нечетких с-средних. Средства решения задачи нечеткой кластеризации в пакете Fuzzy Logic ToolBox.	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных
8	Технология создания и использования интеллектуальных систем на базе теории нечеткой логики	Технология создания и использования интеллектуальных систем на базе теории нечеткой логики.	ЭУМК Мягкие вычисления; Интеллектуальный анализ данных

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

№	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Базовые понятия и основные направления развития искусственного интеллекта (ИИ) и интеллектуальных систем (ИИ)	4		2	10	16
2	Основы нечеткого анализа	4		2	5	11
3	Лингвистическая модель представления информации	4		2	5	11
4	Нечеткая логика	6		2	10	18
5	Системы нечеткого вывода	4		2	10	16
6	Нечеткое моделирование в среде MATLAB	4		2	10	16
7	«Нечеткая кластеризация в Fuzzy Logic Toolbox»	4		2	5	11
8	Технология создания и использования интеллектуальных систем на базе теории нечеткой логики.	2		2	5	9

Итого: 32 16 60 108

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Лекционные занятия (лекции) реализуются в традиционной форме в соответствии с календарным планом-графиком чтения лекций. Целесообразно лекции сопровождать практическими занятиями для лучшего понимания материала и форми-

рования навыков и умений для решения задач, относящихся к мягким вычислениям.

## **15. Перечень основной и дополнительной литературы, интернет-ресурсов, необходимых для освоения дисциплины**

### **а) основная литература**

№ п/п	Источник
1	Ясницкий, Л. Н. Интеллектуальные системы : учебник / Л. Н. Ясницкий. — 2-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 224 с. — ISBN 978-5-00101-897-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/151510">https://e.lanbook.com/book/151510</a>
2	Белозерова, Г. И. Нечеткая логика и нейронные сети : учебное пособие : в 2 частях / Г. И. Белозерова, Д. М. Скуднев, З. А. Кононова. — Липецк : Липецкий ГПУ, [б. г.]. — Часть 1 — 2017. — 64 с. — ISBN 978-5-88526-875-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/111969">https://e.lanbook.com/book/111969</a>
3	Тихомирова А.Н. Нечеткие модели дискретной математики / А.Н. Тихомирова, М.Г. Клейменова. — М. : НИЯУ МИФИ, 2011. — 108 с. Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=75836">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=75836</a>

### **б) дополнительная литература:**

№ п/п	Источник
5	Киселев, В. Ю. Теория нечётных множеств и нечетная логика. Задачи и упражнения : учебное пособие / В. Ю. Киселев, Т. Ф. Калугина. — Иваново : ИГЭУ, 2019. — 72 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/154561">https://e.lanbook.com/book/154561</a>
6	Леденева Т.М. Обработка нечеткой информации / Т.М. Леденева. — Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2006. — 233 с.
7	Новак В. Математические принципы нечеткой логики / В. Новак, И. Перфильева. — М. : Физматлит, 2006. — 352 с. Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2747">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2747</a>
8	Демидова, Г. Л. Регуляторы на основе нечеткой логики в системах управления техническими объектами : учебное пособие / Г. Л. Демидова, Д. В. Лукичев. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2017. — 81 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/110432">https://e.lanbook.com/book/110432</a>

### **в) информационные электронно-образовательные ресурсы:**

№ п/п	Источник
1	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – Зональная научная библиотека ВГУ
2	edu.vsu.ru
3	ЭБС Лань
4	ЭБС ЮРАЙТ

## **16. Перечень учебно-методического обеспечения**

№ п/п	Источник
1	Интеллектуальные системы: учебное пособие / А. Семенов, Н. Соловьев, Е. Чернопрудова, А. Цыганков; Оренбургский государственный университет. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2013. — 236 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=259148">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=259148</a> . — Текст : электронный.

**17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии, электронное обучение, смешанное обучение.**

При реализации дисциплины могут использоваться технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии на базе портала edu.vsu.ru, а также другие доступные ресурсы сети.

**18. Материально-технического обеспечения дисциплины:** Лекционная аудитория должна быть оснащенной современным компьютером с подключенным к нему проектором с видеотерминала на настенный экран. Практические и лабораторные занятия должны проводиться в специализированной аудитории, оснащенной современными персональными компьютерами и программным обеспечением в соответствии с тематикой изучаемого материала. Предполагаемое оборудование для компьютерных классов: компьютеры в составе: системный блок: процесс Intel(R) Core(TM) i3-4160 CPU @ 3.60GHz, оперативная память 8Гб, HDD 500Гб, видеокарта NVIDIA GeForce GTX 750; монитор: Acer V226HQL; мультимедиа-проектор ViewSonic PA503W. Коммутатор HP ProCurve Switch 1400-24G; мультимедийная акустическая система SVEN SPS-702

**19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций**

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	2	3	4	5
1.	Базовые понятия и основные направления развития искусственного интеллекта (ИИ) и интеллектуальных систем (ИИ)	ПК-1 ПК-3 ПК-5	ПК-1.2. ПК-3.2 ПК-5.3.	Лабораторная работа 1
2.	Основы нечеткого анализа	ПК-1 ПК-3 ПК-5	ПК-1.2. ПК-3.2 ПК-5.3.	Лабораторная работа 2
3.	Лингвистическая модель представления информации	ПК-1 ПК-3 ПК-5	ПК-1.2. ПК-3.2 ПК-5.3.	Лабораторная работа 3
4.	Нечеткая логика	ПК-1 ПК-3 ПК-5	ПК-1.2. ПК-3.2 ПК-5.3.	Лабораторная работа 4
5.	Системы нечеткого вывода	ПК-1 ПК-3 ПК-5	ПК-1.2. ПК-3.2 ПК-5.3.	Лабораторная работа 5
6.	Нечеткое моделирование в среде MATLAB	ПК-1 ПК-3 ПК-5	ПК-1.2. ПК-3.2	Лабораторная работа 5

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	2	3	4	5
			ПК-5.3.	
7	«Нечеткая кластеризация в Fuzzy Logic Toolbox»	ПК-1 ПК-3 ПК-5	ПК-1.2. ПК-3.2 ПК-5.3.	Лабораторная работа 6
8.	Технология создания и использования интеллектуальных систем на базе теории нечеткой логики	ПК-1 ПК-3 ПК-5	ПК-1.2. ПК-3.2 ПК-5.3.	Лабораторная работа 7
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Перечень вопросов Практическое задание

**20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

## **20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

### **20.1 Текущий контроль успеваемости**

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### **Лабораторная работа 1 (пример задания)**

Задание.

Представить декларативное знание о понятии «Квартира» четырьмя моделями представления знаний:

1. в виде семантической сети.
2. в виде фреймов.
3. в виде логической модели.
4. в виде продукционной модели.

Квартира состоит из:

1. Кухня.
2. Гостиная.
3. Прихожая.
4. Спальня.
5. Детская.
6. Санитарный узел (туалет).
7. Ванная комната.
8. Кладовка.
9. Гардеробная.
10. Комната отдыха (игровая комната).
11. Спортивная комната (тренажерная).
12. Бытовая комната.

Дополнительные задания: компьютерный класс; компьютерный клуб.

Порядок выполнения и результаты.

Студенты по вариантам (вариант - часть квартиры) самостоятельно выполняют задание в рабочей тетради (лучше сначала на черновиках). Используется конспект лекций или рекомендуемая литература. Семантическая сеть должна содержать не менее 20 вершин с разными типами связей. Фреймовая модель должна содержать не менее 6 фреймов, связанных двумя типами связи. В продукции отразить все составляющие. В процессе работы каждый студент предоставляет преподавателю составленные модели. Преподаватель со студентом обсуждают и уточняют модели, при необходимости модели дорабатываются. Затем обучаемые составляют общую семантическую сеть и сеть фреймов понятия «Квартира» на доске и зарисовывают ее в тетрадь. Результат: четыре модели (согласно варианта) и две общие модели в рабочей тетради.

#### **Лабораторная работа 2 (пример варианта)**

Задача 1. Пусть функции принадлежности нечетких множеств  $A$  и  $B$  заданы в виде

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 - e^{-x}, & \text{если } x \leq 0, \\ 1 - e^{-x}, & \text{если } x \geq 0. \end{cases} \quad \mu_B(x) = \frac{1}{1 + 3x^2}.$$

Постройте графики функций принадлежности  $A \cup B$ ,  $A \cap B$ ,  $A \setminus B$ .

Задача 2. Для нечеткого множества с функцией принадлежности

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin(\pi \cdot (x + 1,5)), & -2 \leq x \leq -1 \\ 1, & -1 \leq x \leq 1, \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin(\pi \cdot (x - 1,5)), & 1 \leq x \leq 2, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

найдите линейный индекс нечеткости.

Задача 3. Пусть заданы нечеткие множества

$$A = \{(a / 0), (b / 0.3), (c / 0.7), (d / 0.1), (e / 0), (f / 0.2)\},$$

$$B = \{(a / 0.4), (b / 1), (c / 0.5), (d / 0.8), (e / 1), (f / 0.5)\}.$$

Найдите нечеткое множество, являющееся их средним арифметическим.

Задача 4. Непрерывная, строго убывающая функция  $\varphi : [0,1] \rightarrow [0, \infty)$ , такая что  $\varphi(1) = 0$ , называется *убывающим генератором*. Непрерывная, строго возрастающая функция  $\varphi : [0,1] \rightarrow [0, \infty)$ , такая что  $\varphi(0) = 0$ , называется *возрастающим генератором*.

Найти условия, при которых функция  $\varphi(x) = \pm \frac{1}{\sqrt{\alpha\gamma}} \operatorname{arctg}\left(x\sqrt{\frac{\gamma}{\alpha}}\right) + C \left( \frac{\alpha}{\gamma} > 0 \right)$  является возрастающим и/или убывающим генератором. Подтвердите графически Ваши выводы.

### Лабораторная работа 3 (пример варианта)

#### Задание

Компания «Трансферт», занимающаяся перепродажей квартир, решила приобрести несколько квартир в новых жилых комплексах города. Для анализа качества жилья были выбраны следующие критерии: *характеристика района* (ХР), *репутация компании-застройщика* (Р), *инвестиционная привлекательность* (ИП), *планировка* (П), *вид из окна* (В), *наличие внешней инфраструктуры* (ВИ), *наличие автономной инфраструктуры (паркинг, служба консьерж, охрана, пассажирский и грузовой лифт, профессиональное управление комплексом)* (АИ), *скидки для покупателей и выгодные условия кредита* (СК), *средняя стоимость 1 кв. метра жилья* (С). Оценки жилых комплексов в шкале  $S = \{N, VL, L, M, H, VH, P\}$  представлены в таблице.

Жилой комплекс	ХР	Р	ИП	П	В	ВИ	АИ	СК	С
Три богатыря	VH	H	VH	H	M	VH	VH	VH	VH
Северная корона	M	H	M	M	H	M	L	M	M
Лесная поляна	M	M	M	H	VH	L	H	H	H
Арка	H	M	VH	M	M	L	L	H	H
Петровский пассаж	VH	H	M	VH	H	H	VH	H	VH
Синяя птица	M	M	H	M	H	M	M	M	M
Алые паруса	L	H	M	H	VH	L	L	M	M

Выберите из таблицы два жилых комплекса и по любым трем показателям, наиболее важным с Вашей точки зрения, постройте обобщенные оценки на основе функции порядкового взвешенного агрегирования (OWA) с вектором весов, полученным на основе квантора  $Q(x) = x^2$ . Какова стратегия агрегирования? Какой объект является лучшим?

### Лабораторная работа 4 (пример варианта)

1. Функции нечетких булевых переменных заданы формулами:

$$f_1(x_1, x_2, x_3) = x_1 \vee \bar{x}_2 \vee \overline{x_1 x_3}, \quad f_2(x_1, x_2, x_3) = \overline{\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \overline{x_1 x_3}}, \quad f_3(x_1, x_2, x_3) = \overline{\bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 \vee \overline{x_1 x_2}},$$

$$f_4(x_1, x_2, x_3) = \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3 \vee \overline{x_1 x_2 x_3}.$$

1) Упростите формулы.

2) Найдите значения функций, если  $x_1 = 0.4$ ,  $x_2 = 0.6$ ,  $x_3 = 0.9$ .

2. Функции нечетких булевых переменных заданы формулами:

$$f_1(x_1, x_2) = \bar{x}_1 \vee x_1 \bar{x}_1 \vee x_2, \quad f_2(x_1, x_2) = x_1 \bar{x}_1 \vee x_2 \bar{x}_2, \quad f_3(x_1, x_2) = \overline{x_1 x_2} \vee x_1 x_2, \quad f_4(x_1, x_2) = x_1 \vee \overline{x_1 x_2},$$

$$f_5(x_1, x_2) = x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_1 \vee x_2.$$

1) Упростите формулы (если это возможно).

2) Постройте таблицы значений функций.

3) Запишите множества истинности предикатов  $f_i \in [0.4, 0.8]$   $i = 1, 2, 3, 4, 5$  и дайте их геометрическую интерпретацию.

4) Постройте схемы реализации каждой функции, если  $x_1 \in [0.2, 0.5]$ ,  $x_2 \in [0.5, 0.9]$ .

3. Выступая в роли эксперта, оцените истинность и ложность следующего рекламного текста: "Здесь Вы можете приобрести товар по Вашему вкусу и очень недорого", если заказчики рекламы так оценивают достоверность ее высказываний:

$$p = "Вы можете приобрести товар по Вашему вкусу" \in [0.6, 0.8],$$

$$q = "Вы можете приобрести товар очень недорого" \in [0.3, 0.9].$$

С помощью формул (5.11) и (5.12) рассмотрите несколько значений параметра  $a_i$ . Сформулируйте Ваши заключения с помощью модифицированных термов "истина" и "ложь".

## **Лабораторная работа (пример работы)**

Проектирование нечетких Мамдани (Mamdani), Цукамото (Tsukamoto), (Larsen), Сугено(Sugeno). В качестве примера рассмотрено проектирование нечетких систем Мамдани.

### **Проектирование нечетких систем Мамдани**

В среде *MatLab* присутствуют следующие пять основных средств графического интерфейса пользователя, которые обеспечивают процесс нечеткого моделирования.

*Редактор системы нечеткого вывода* предполагает ввод и редактирование количества входных и выходных переменных и наименований переменных.

*Редактор функции принадлежности* используется для определения формы функции принадлежности, ассоциированной с каждым термом лингвистической переменной.

*Редактор правил вывода* применяется для редактирования списка правил, описывающих поведение моделируемой системы.

*Средство просмотра правил вывода* используется в целях диагностики и может показывать, например, активность правил или форму влияния отдельных функций принадлежности на результат нечеткого вывода.

*Средство просмотра поверхности вывода* используется для отображения зависимости выходной переменной от одной или двух входных переменных.

Эти средства связаны между собой динамически, и производимые изменения в одном из них влекут изменения в других.

Рассмотрим основные этапы проектирования нечетких систем Мамдани на примере создания системы нечеткого логического вывода, моделирующей зависимость

$$y = x_1^2 \cdot \sin(x_2 - 1), \quad x_1 \in [-7, 3], \quad x_2 \in [-4.4, 1.7],$$

для представления трехмерного изображения которой используем следующую программу:

```
% Построение графика функции y=x1^2*sin(x2-1)
% в области x1e[-7,3] и x2e[-4.4,1.7].
n=15;
x1=-7:10/(n-1):3;
x2=-4.4:6.1/(n-1):1.7;
y=zeros(n,n);
for j=1:n
    y(:,j)=x1.^2*sin(x2(j)-1);
end
surf(x1,x2,y)
xlabel('x1')
ylabel('x2')
zlabel('y')
title('Target');
```

В результате выполнения программы получим графическое изображение

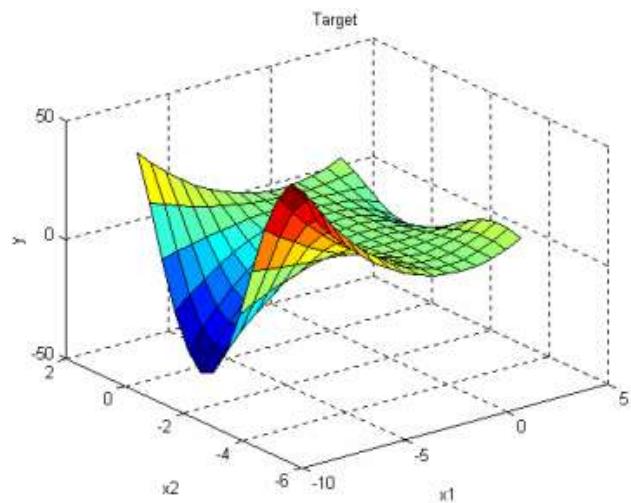


Рис. 1

Проектирование системы нечеткого логического вывода, соответствующей приведенному графику, состоит в выполнении следующей последовательности шагов.

*Шаг 1.* Для загрузки основного fis-редактора введем команду **fuzzy** в командной строке. После этого откроется новое графическое окно, показанное на рис. 2.

*Шаг 2.* Добавим вторую входную переменную. Для этого в меню **Edit** выбираем команду **Add input**.

*Шаг 3.* Переименуем первую входную переменную. Для этого сделаем один щелчок левой кнопкой мыши на блоке **input1**, введем новое обозначение **x1** в поле редактирования имени текущей переменной и нажмем **<Enter>**.

*Шаг 4.* Переименуем вторую входную переменную. Для этого сделаем один щелчок левой кнопкой мыши на блоке **input2**, введем новое обозначение **x2** в поле редактирования имени текущей переменной и нажмем **<Enter>**.

*Шаг 5.* Переименуем выходную переменную. Для этого сделаем один щелчок левой кнопкой мыши на блоке **output1**, введем новое обозначение **y** в поле редактирования имени текущей переменной и нажмем **<Enter>**.

*Шаг 6.* Зададим имя системы. Для этого в меню **File** выбираем в подменю **Export** команду **To disk** и вводим имя файла, например, **first**.

*Шаг 7.* Перейдем в редактор функций принадлежности. Для этого сделаем двойной щелчок левой кнопкой мыши на блоке **x1**.

*Шаг 8.* Зададим диапазон изменения переменной **x1**. Для этого введем **-7 3** в поле **Range** (рис. 3) и нажмем **<Enter>**.

*Шаг 9.* Зададим функции принадлежности переменной **x1**. Для лингвистической оценки этой переменной будем использовать 3 терма с треугольными функциями принадлежности. Для этого в меню **Edit** выберем команду **Add MFs...** В результате появится диалоговое окно выбора типа и количества



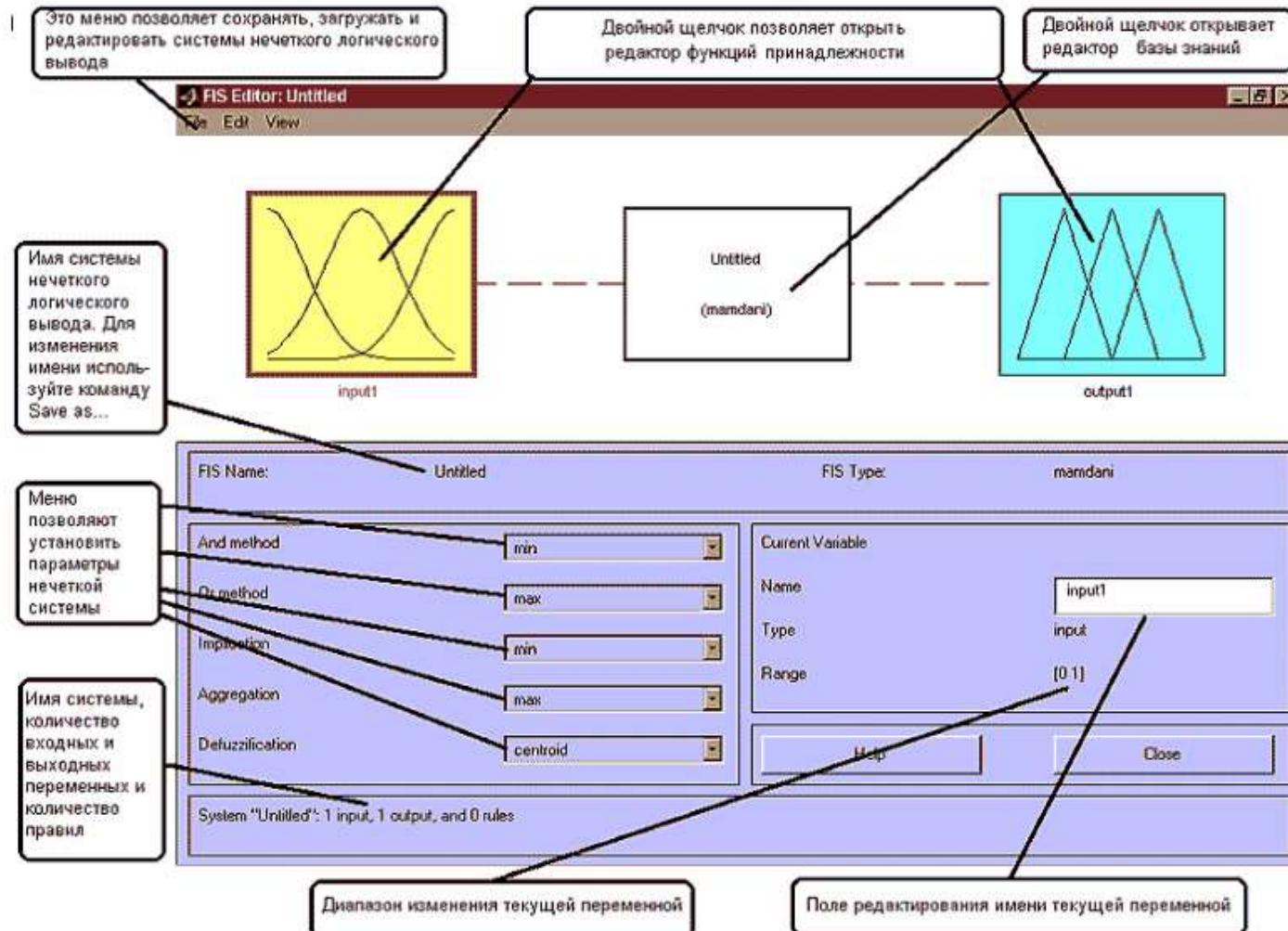


Рис. 2. Окно редактора FIS-Editor

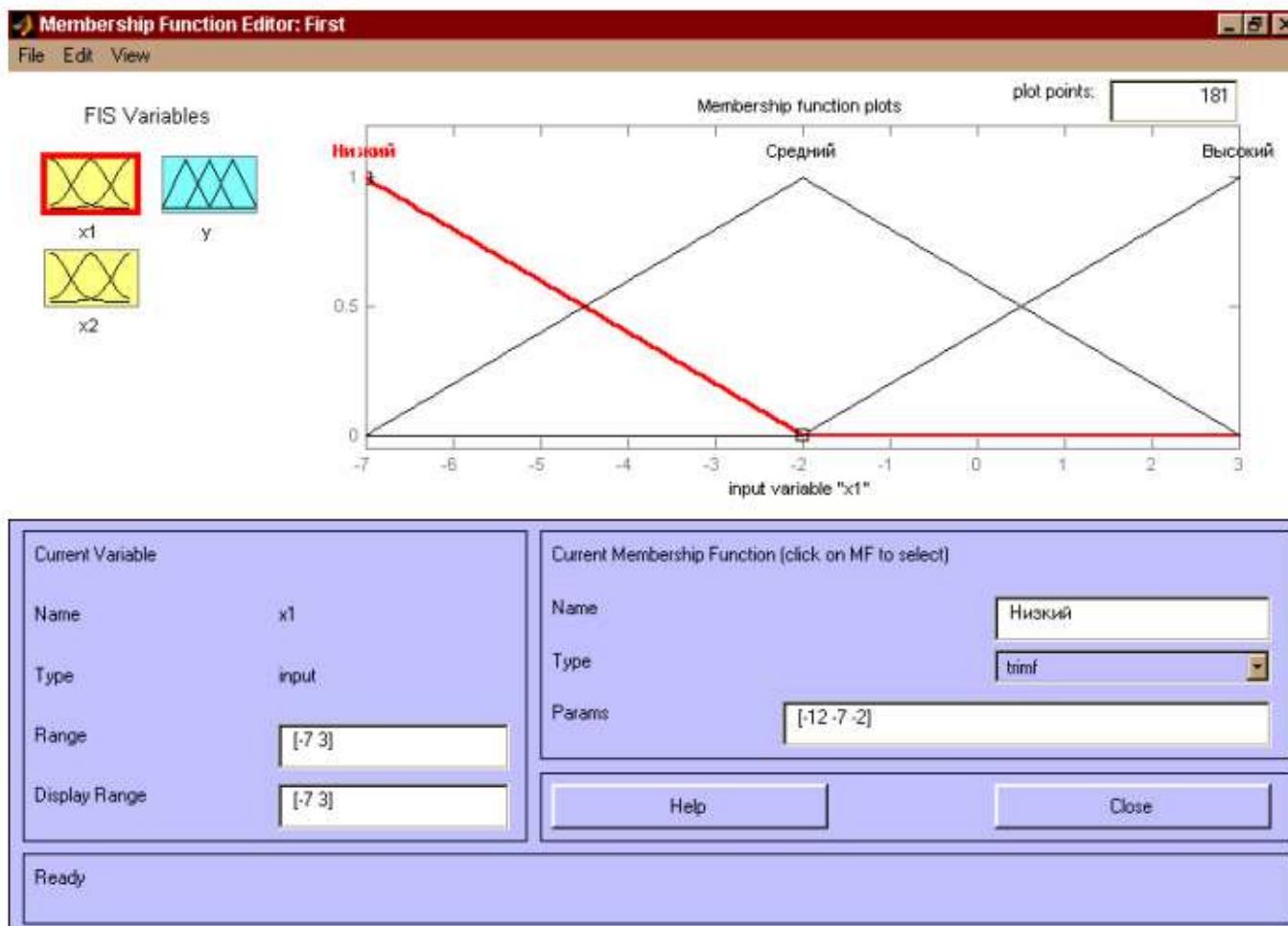


Рис. 3. Функции принадлежности переменной  $x_1$

функций принадлежности. По умолчанию это 3 терма с треугольными функциями принадлежности. Поэтому просто нажимаем **<Enter>**.

**Шаг 10.** Зададим наименования термов переменной **x1**. Для этого делаем один щелчок левой кнопкой мыши по графику первой функции принадлежности (рис. .3). Затем вводим наименование терма, например, *низкий* в поле **Name** и нажмем **<Enter>**. После делаем один щелчок левой кнопкой мыши по графику второй функции принадлежности и вводим наименование терма, например, *средний* в поле **Name** и нажмем **<Enter>**. Еще раз делаем один щелчок левой кнопкой мыши по графику третьей функции принадлежности и вводим наименование терма, например, *высокий* в поле **Name** и нажмем **<Enter>**. В результате получим графическое окно, изображенное на рис. .3.

**Шаг 11.** Зададим функции принадлежности термов для переменной **x2**. Для лингвистической оценки этой переменной будем использовать 5 термов с гауссовыми функциями принадлежности. Для этого активизируем переменную **x2** с помощью щелчка левой кнопки мыши на блоке **x2**. Зададим диапазон изменения переменной **x2**. Для этого введем **-4.4 1.7** в поле **Range** (рис. .4) и нажмем **<Enter>**. Затем в меню **Edit** выберем команду **Add MFs...**. В появившемся диалоговом окне выбираем тип функции принадлежности **gaussmf** в поле **MF type** и **5** термов в поле **Number of MFs**. После этого нажимаем **<Enter>**.

**Шаг 12.** По аналогии с *шагом 10* зададим следующие наименования термов переменной **x2**: *низкий, ниже среднего, средний, выше среднего, высокий*. В результате получим графическое окно, изображенное на рис. .4.

**Шаг 13.** Зададим функции принадлежности переменной **y**. Для лингвистической оценки этой переменной будем использовать 5 термов с треугольными функциями принадлежности. Для этого активизируем переменную **y** с помощью щелчка левой кнопки мыши на блоке **y**. Зададим диапазон изменения переменной **y**. Для этого введем **-50 50** в поле **Range** (рис. .5) и нажмем **<Enter>**. Затем в меню **Edit** выберем команду **Add MFs...**. В появившемся диалоговом окне выбираем **5** термов в поле **Number of MFs**. После этого нажимаем **<Enter>**.

**Шаг 14.** По аналогии с *шагом 10* зададим следующие наименования термов переменной **y**: *низкий, ниже среднего, средний, выше среднего, высокий*. В результате получим графическое окно, изображенное на рис. .5.

**Шаг 15.** Перейдем в редактор базы знаний **RuleEditor**. Для этого в меню **Edit** выберем команду **Edit rules...**

**Шаг 16.** На основе визуального наблюдения за графиком, изображенным на рис. .1, сформулируем следующие девять правил.

1. Если  $x_1=\text{средний}$ , то  $y=\text{средний}$ .
2. Если  $x_1=\text{низкий}$  и  $x_2=\text{низкий}$ , то  $y=\text{высокий}$ .
3. Если  $x_1=\text{низкий}$  и  $x_2=\text{высокий}$ , то  $y=\text{высокий}$ .
4. Если  $x_1=\text{высокий}$  и  $x_2=\text{высокий}$ , то  $y=\text{выше среднего}$ .

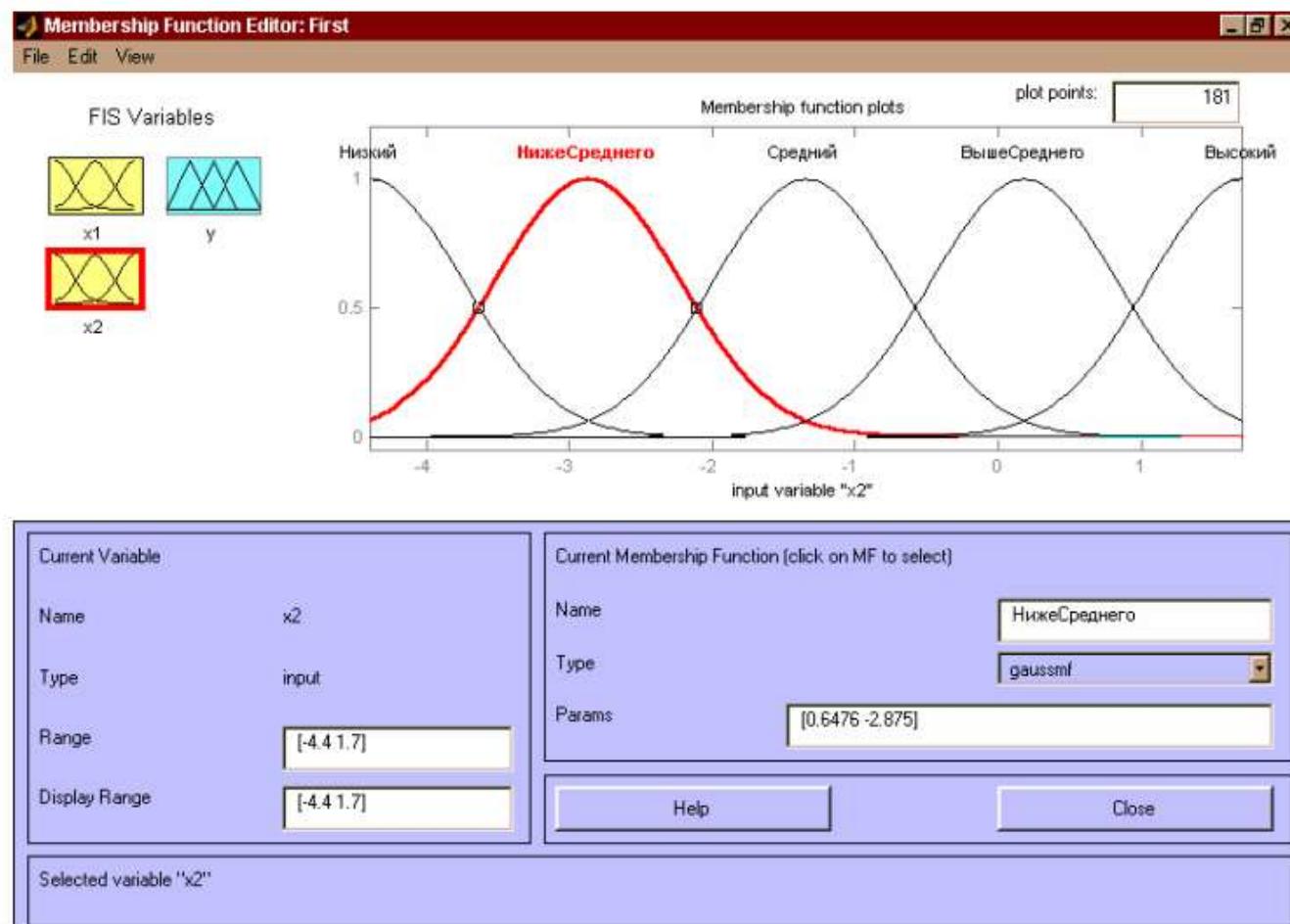


Рис. 4. Функции принадлежности переменной  $x_2$

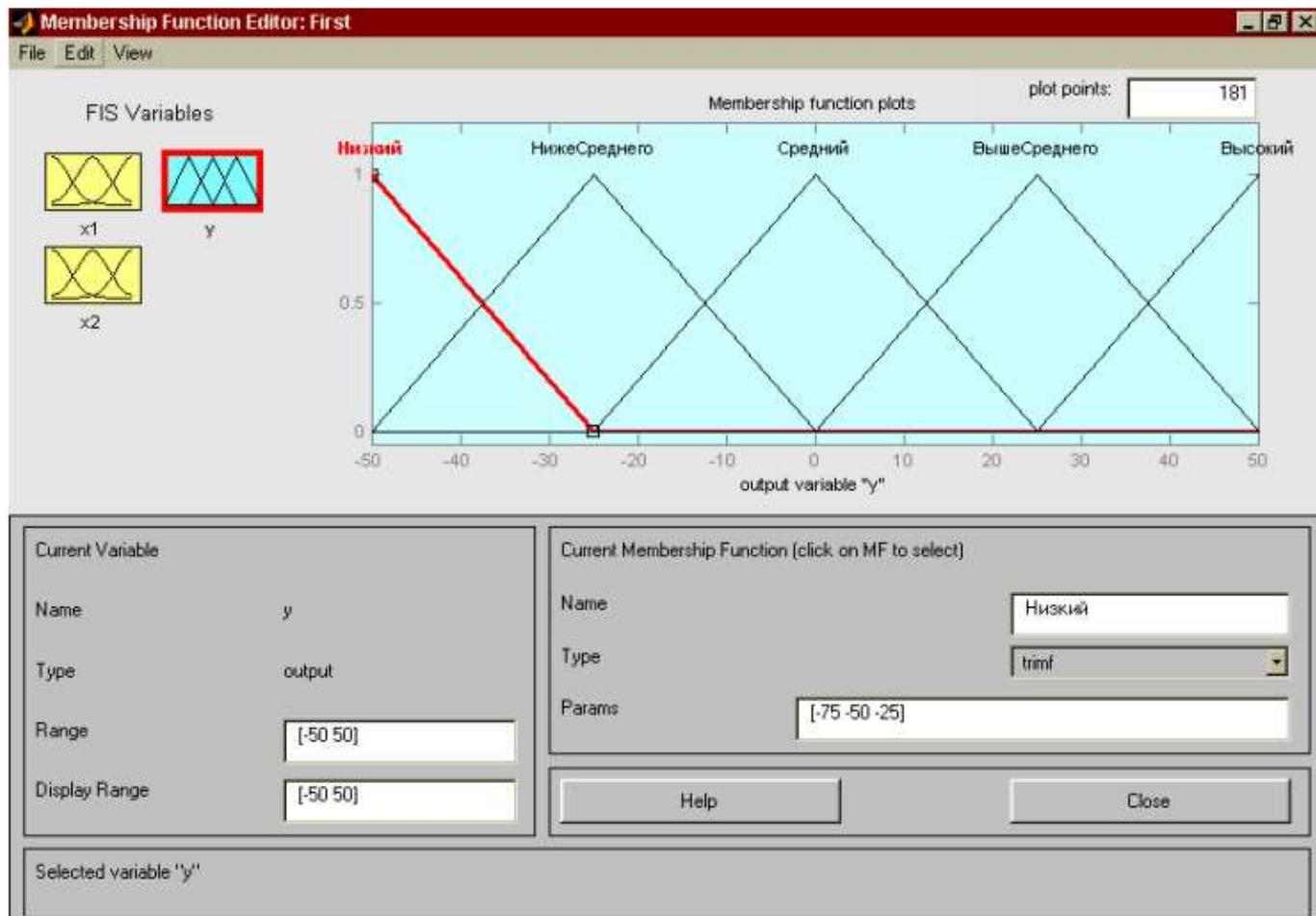


Рис. 5. Функции принадлежности переменной у

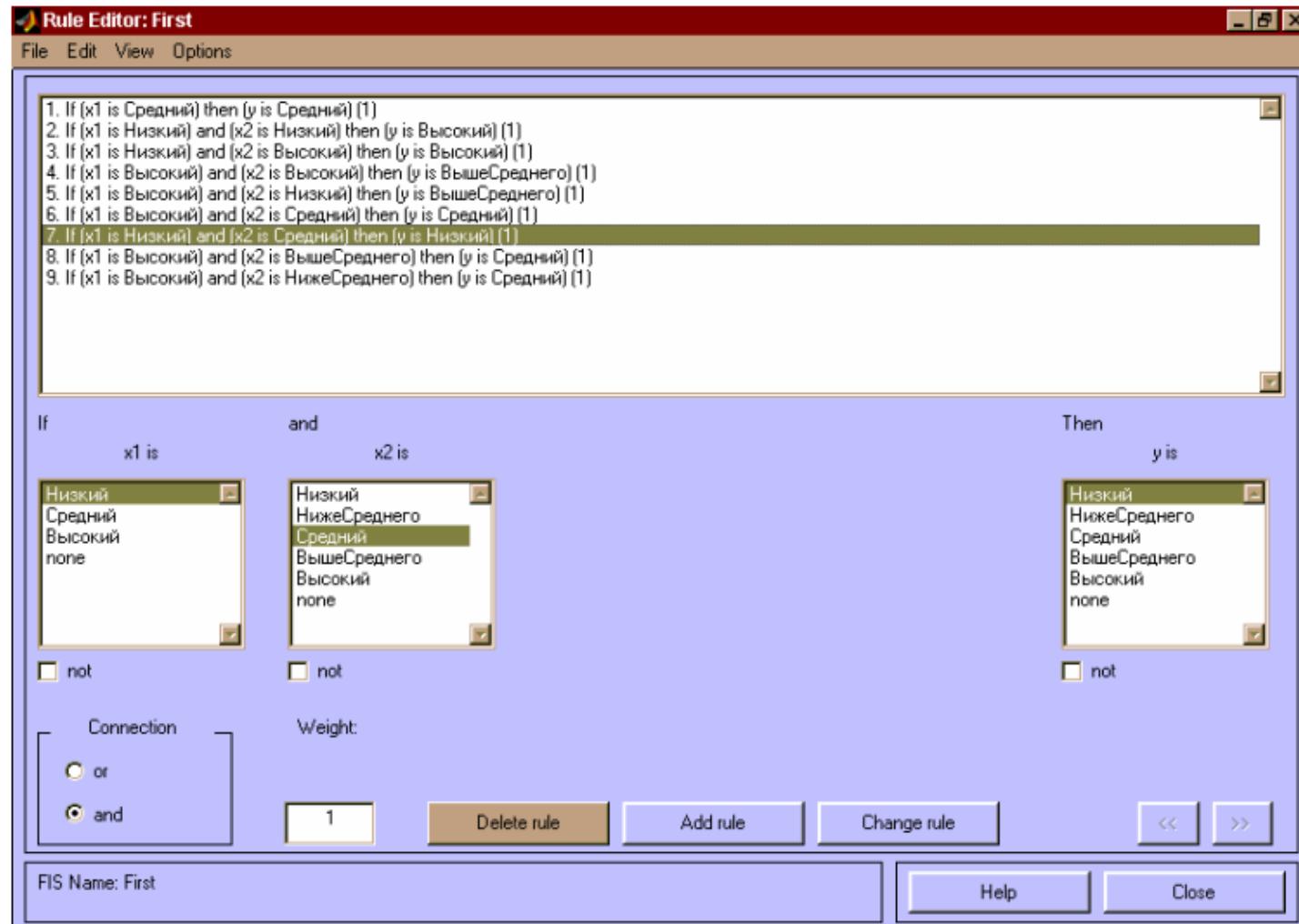


Рис. 6. База знаний в RuleEditor

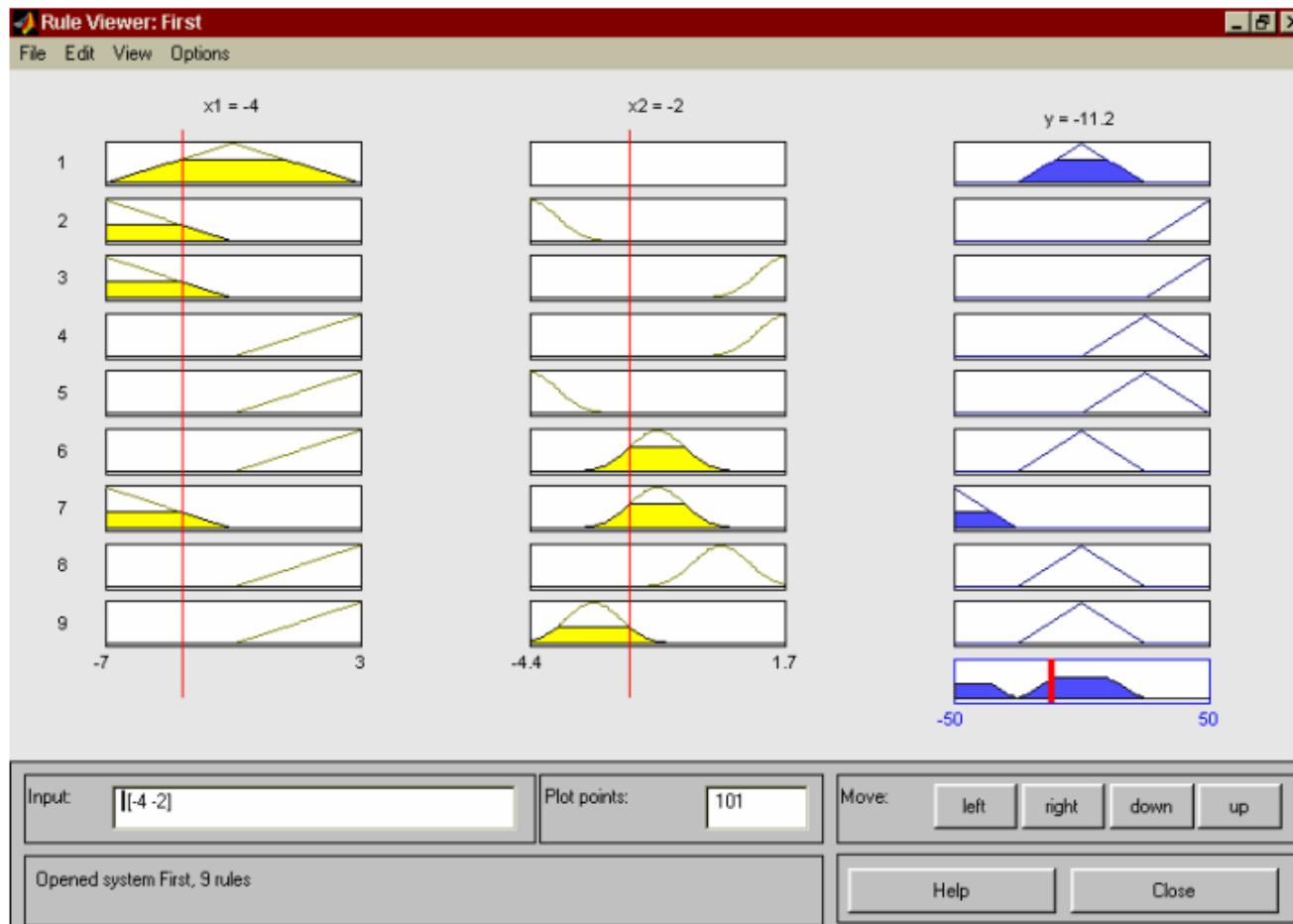


Рис. 7. Визуализация нечеткого логического вывода в RuleViewer

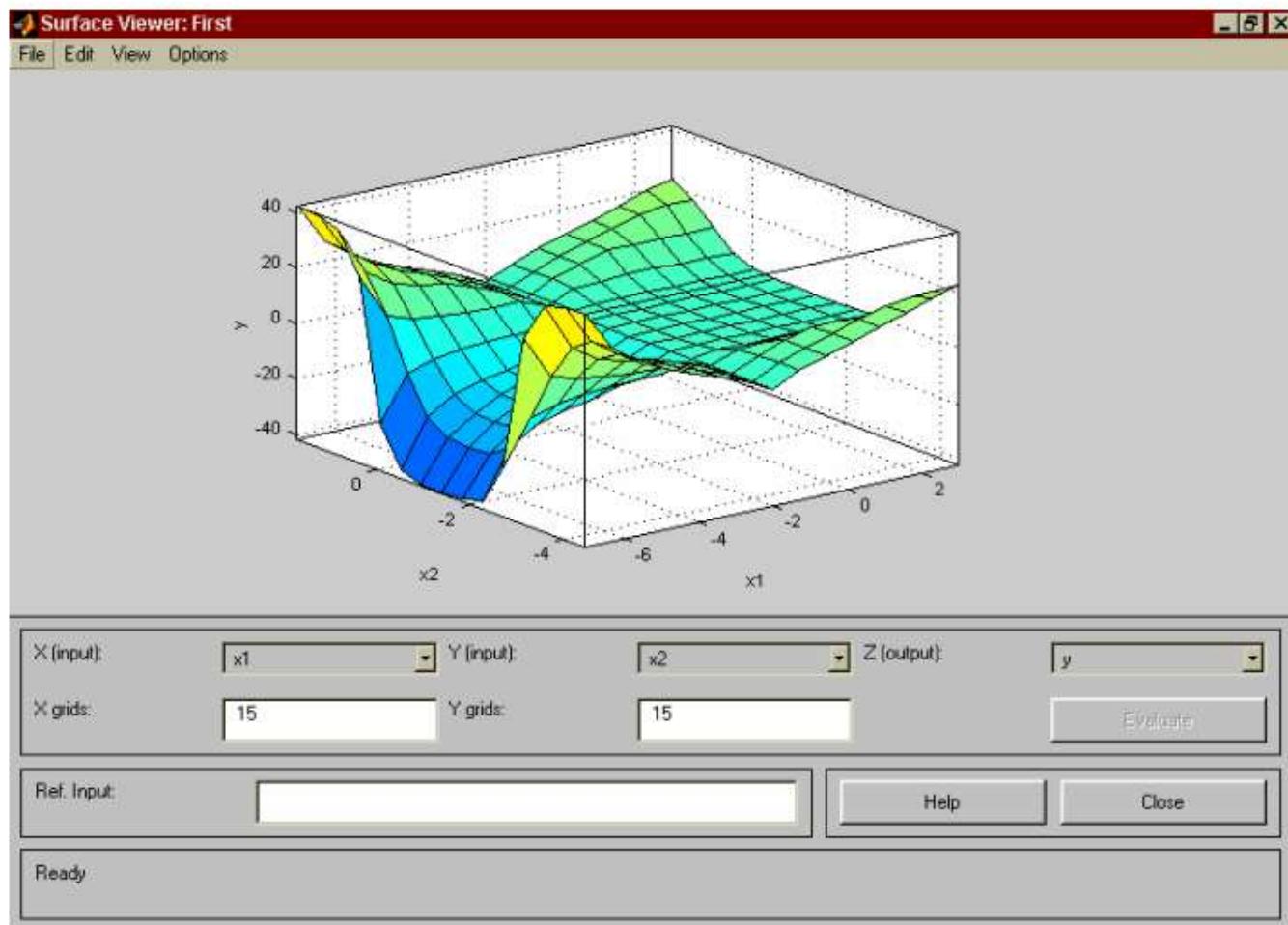


Рис. 8. Поверхность “входы-выход” в окне SurfaceViwer

5. Если  $x_1=высокий$  и  $x_2=низкий$ , то  $y=выше среднего$ .
6. Если  $x_1=высокий$  и  $x_2=средний$ , то  $y=средний$ .
7. Если  $x_1=низкий$  и  $x_2=средний$ , то  $y=низкий$ .
8. Если  $x_1=высокий$  и  $x_2=выше среднего$ , то  $y=средний$ .
9. Если  $x_1=высокий$  и  $x_2=ниже среднего$ , то  $y=средний$ .

Для ввода правила необходимо выбрать в меню соответствующую комбинацию термов и нажать кнопку **Add rule**. На рис. 6 изображено окно редактора базы знаний после ввода всех девяти правил. Число, приведенное в скобках в конце каждого правила, представляет собой весовой коэффициент соответствующего правила.

**Шаг 17.** Сохраним созданную систему. Для этого в меню **File** выбираем в подменю **Export** команду **To disk**.

На рис. 7 приведено окно визуализации нечеткого логического вывода. Это окно активизируется командой **View rules...** меню **View**. В поле **Input** указываются значения входных переменных, для которых выполняется логический вывод. На рис. 8 приведена поверхность “входы-выход”, соответствующая синтезированной нечеткой системе. Для вывода этого окна необходимо использовать команду **View surface...** меню **View**. Сравнивая поверхности на рис. 1 и на рис. 8, можно сделать вывод, что нечеткие правила достаточно хорошо описывают сложную нелинейную зависимость.

## Лабораторная работа 6 (пример работы)

### Нечеткая кластеризация

Нечеткая кластеризация данных в среде *MatLab* осуществляется с помощью расширения *Fuzzy Logic Toolbox*. В этот пакет входит программа **Clustering**, которая является некоторой визуализированной средой для осуществления классификации данных с помощью алгоритмов *Fuzzy C-means* and *Subtractive clustering*.

1. Для вызова программы **Clustering** наберите команду **findcluster**, в результате чего появится новое окно.

2. Перейдите в новое окно и нажмите кнопку загрузки данных **Load Data** (данные загружаются в формате **\*.dat**; формат данных: матрица объект-признак, столбцы соответствуют признакам, строки – объектам, числа разделяются пробелом, дробная часть отделяется точкой).

**Замечание.** Файл **\*.dat** можно подготовить средствами *MatLab*. Как один из способов можно предложить следующий:

- В командной строке набрать `>> data = [];` (в рабочем пространстве будет создана переменная `data` типа массив, с пустым содержимым).
- Открыть редактор массива (для этого переключитесь в панель Workspace и кликнуть дважды по переменной `data`).
- Указать размерность массива в полях `Size` и `By` с учетом пункта 2 задания – строка объекты, столбцы – признаки.
- После ввода всех данных закрыть редактор и в командной строке набрать

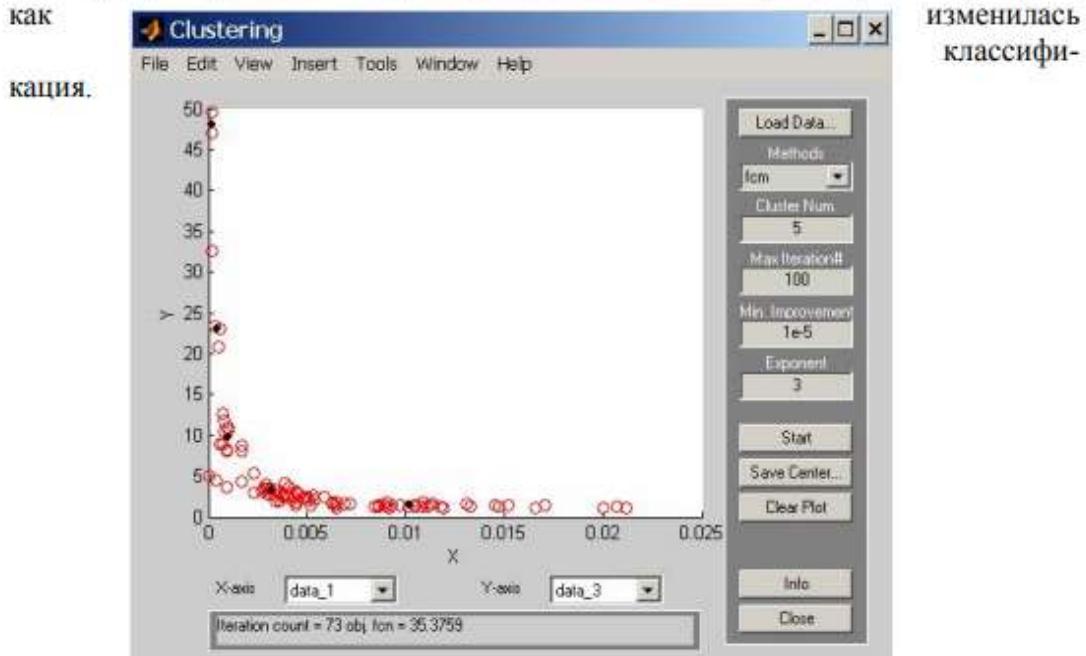
```
>> save <путь\имя файла.dat> data - ASCII
```

3. В окне программы появится двумерная визуализация данных, которая возможна только в случае выбора двух признаков, поэтому целесообразно комбинировать различные пары признаков, чтобы более полно проанализировать структуру данных.

4. Выбор алгоритма кластеризации осуществляется с помощью кнопки **Method**. Выберите метод **fcm** (алгоритм *Fuzzy C-means*).

5. Задайте параметры классификации для метода **fcm**: **Cluster num** – количество искомых нечетких кластеров; **Max iteration#** – максимальное количество итераций (по умолчанию – 100); **Min Improvement** – параметр сходимости алгоритма (по умолчанию – 0.00001); **Exponent** – экспоненциальный вес для расчета матрицы нечеткого разбиения (по умолчанию – 2). Если параметры специально не определять, то их значения будут выставлены по умолчанию.

6. Нажмите кнопку **Start**. На рис. 1 представлена классификация данных методом *Fuzzy C-means*. Черными точками изображены центры кластеров (их 5). Изменяя параметры **Cluster Num** и **Exponent**, можно увидеть, как



7. Теперь с помощью кнопки **Method** выберите **Subtractive** (метод *Subtractive clustering*). Задайте следующие параметры для этого алгоритма: **Influence Range** – радиус (число из  $[0,1]$  (для нормализованных данных) или вектор, каждая компонента которого представляет собой радиус для соответствующей координаты данных; если задать одно число, то радиус для всех признаков будет считаться одинаковым); **Squash Factor** – фактор подавления – используется для расширения «сферы влияния» выделенного центра кластера для уменьшения потенциала точек, относящихся к данному кластеру (по умолчанию – 1.25); **Accept Ratio** – коэффициент принятия – устанавливает во сколько раз должен быть больше потенциал следующего кластера по отношению к первому, чтобы его можно было объявить центром нового кластера (по умолчанию – 0.5); **Reject Ratio** – коэффициент отклонения – устанавливает потенциал как часть от потенциала центра первого кластера: если потенциал точки ниже коэффициента отклонения, то элемент данных не будет объявляться центром класса (по умолчанию равен 0.15).

8. Нажмите кнопку **Start**. На рис. 2 представлена классификация данных методом *Subtractive clustering*.

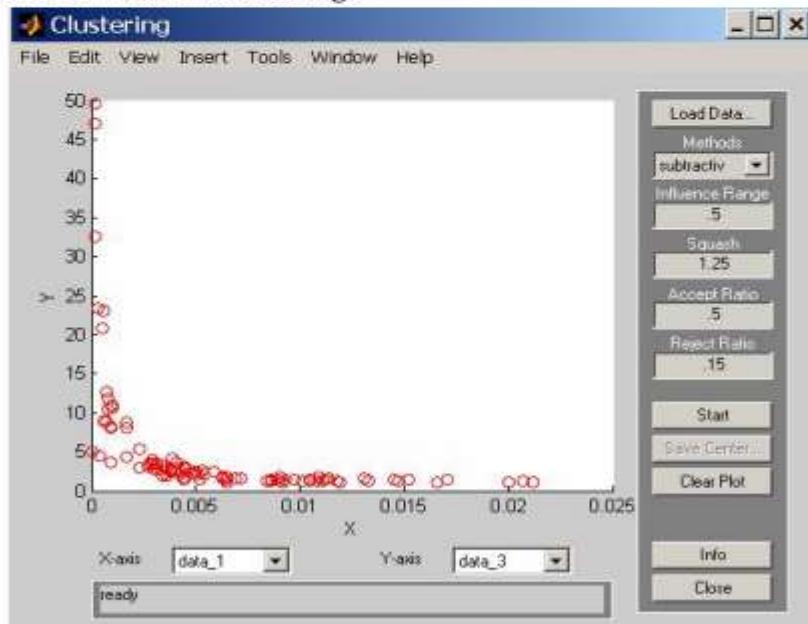


Рис. 2

Отметим некоторые возможности, предоставляемые средой Clustering.

1. Для более детального изучения структуры данных можно осуществить вращение данных в трехмерной системе координат с помощью функции **Tools/ Rotate 3D** и **Tools/ Move Camera** (рис. 3).

2. С помощью **Tools/Basic Fittings** можно выбрать подходящую зависимость для данных или для центров кластеров. Для этого в **Select data** выбрать метод подбора зависимости. В результате выводится вид зависимости (уравнение и график), значения коэффициентов, норма остатков, а также прогноз одного или нескольких значений. В этом режиме можно подобрать вид зависимости, которая наилучшим образом аппроксимирует данные (рис. 4 и 5).

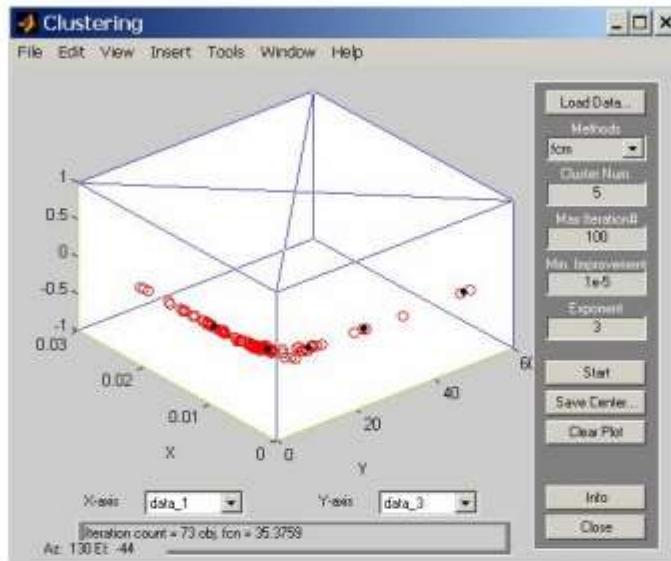
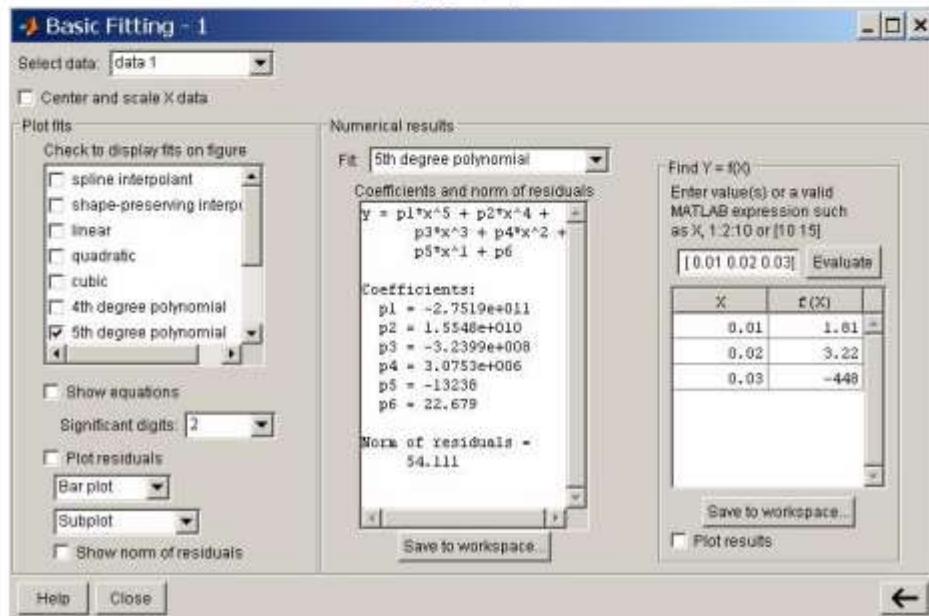


Рис. 3



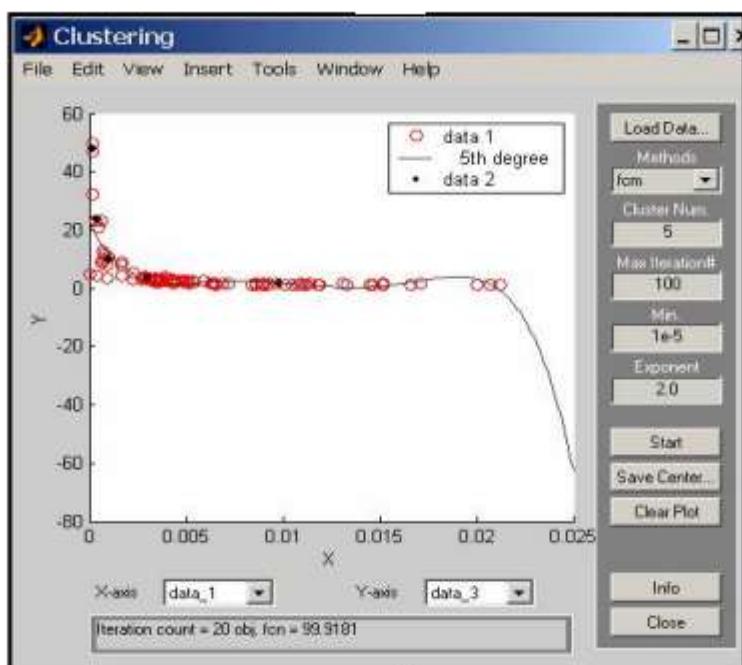
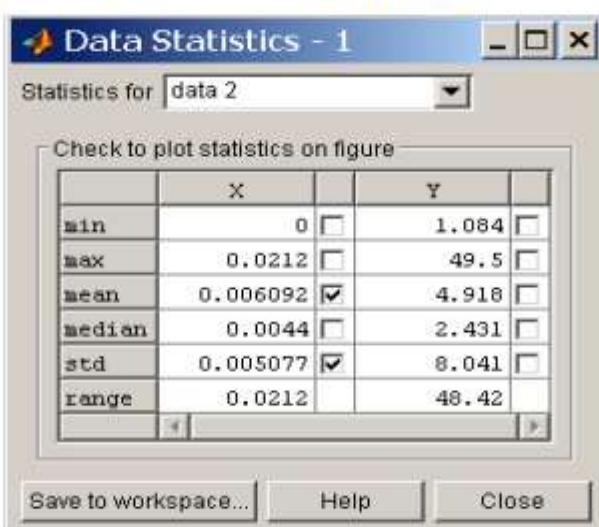


Рис. 5

3. Расчет основных статистик с помощью **Tools/Data Statistics**: минимальное и максимальное значения, среднее, медиана, среднеквадратическое [стандартное] отклонение, диапазон изменения (max-min) для каждой координаты. Значения статистик можно представить графически (рис. 6 и 7).
4. Редактирование изображений с помощью пунктов меню **Insert/ X,Y,Z Label, Title, Legend, Colorbar, Arrow, Text, Line, Axes, Light**.



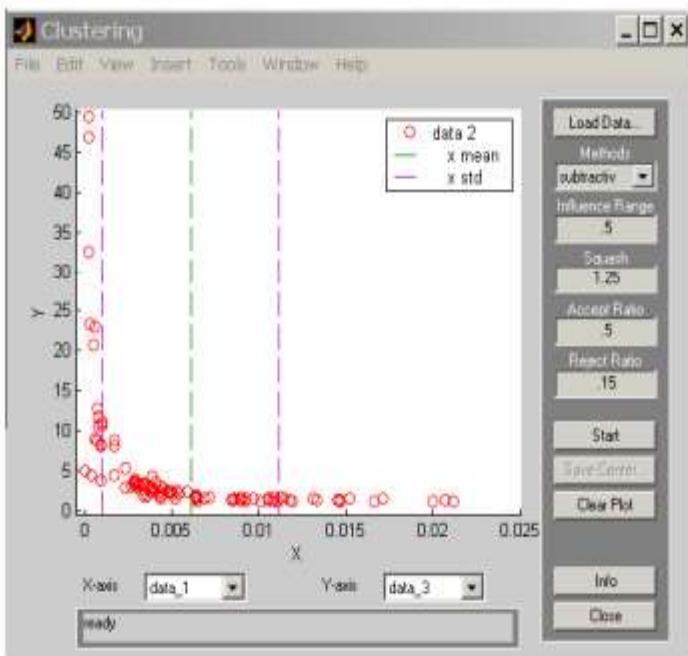


Рис. 7

### Классификация в режиме командной строки

Функция **fcm** осуществляет кластеризацию с использованием алгоритма *Fuzzy C-means* и записывается следующим образом:

**[C,U,obj\_fcn]=fcm(data, cluster\_n, options),**

где **data** – матрица данных, каждый столбец которой соответствует одному из признаков, а строка – объекту; **Cluster\_n** – число кластеров; **Options** – вектор настроек: **Options(1)** – экспоненциальный вес, **Options(2)** – максимальное число итераций, **Options(3)** – параметр сходимости, **Options(4)** – 1 (если требуется выводить информацию на каждой итерации) или 0 (в противном случае). Если аргумент **Options** опущен, то используются установки по умолчанию.

Функция **fcm** возвращает: **C** – матрица центров кластеров (строки соответствуют центрам, столбцы соответствуют координатам); **U** – матрица степеней принадлежности; **obj\_fcn** – значение целевой функции, определяющее качество кластеризации.

Функция **subclust** осуществляет кластеризацию с использованием алгоритма *Subtractive clustering* и записывается следующим образом:

**[C]=subclust(X, radii)** или **[C,S]=subclust(X, radii, xBounds, options),**

где **X** – набор экспериментальных данных (столбцы соответствуют переменным, строки – экспериментальным данным); **radii** – вектор, определяющий «области влияния» центров кластеров по каждой входной

переменной (если данный аргумент задан как скаляр, то по всем переменным устанавливается один и тот же размер «области влияния»);  $xBounds$  – матрица размерности  $2 \times N$ , устанавливающая границы областей определения входных переменных (по умолчанию берутся границы изменения признаков); параметр *options* имеет следующие значения: *options(1)* – Squash Factor (фактор подавления); *options(2)* – Accept Ratio – коэффициент принятия; *options(3)* – Reject Ratio – коэффициент отклонения; *options(4)* – verbose (подробности) – если этот элемент равен 1, то выдается подробная информация о процессе нахождения центров кластеров, по умолчанию – 0.

Функция *subclust* возвращает:  $C$  – матрица центров,  $S$  – вектор, который содержит элементы, определяющие диапазоны влияния центров по каждой переменной (для всех центров эти диапазоны одинаковы).

Последовательность действий в режиме командной строки следующая.

1. Загружаем предварительно подготовленные данные (файл Forex.dat) и присваиваем их переменной  $X$ :  
`>> load Forex.dat;`  
`>> X=Forex.`
2. Осуществляем классификацию с помощью функции  
`>> [C,U,obj_fcn] = fcm(X,2)`  
или  
`>> [c,s]=subclust(X, radius).`
3. Вывод графического изображения классификации  
`>> plot(X(:,1), X(:,2), 'o');`  
`hold on;`  
`plot(C(:,1),center(:,2),'o','color','r').`

## Лабораторная работа 8

Описать создание экспертной системы по выбранному студентом направлению, включающее следующие шаги:

1. идентификация,
2. концептуализация,
3. формализация,
4. выполнение,
5. тестирование,
6. опытная эксплуатация.

**Критерий оценки контрольной работы:** лабораторная работа зачтена, если выполнены все задания.

### 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в форме письменного экзамена, на который отводится 120 минут. Затем работы проверяются преподавателем, и полученные оценки выставляются в ведомость и в зачетку. Если имеется необходимость в уточнении решения задач, или возникает спорная ситуация, то может быть проведено дополнительное собеседование.

### Перечень вопросов для промежуточной аттестации (экзамен)

1. Понятие искусственного интеллекта.
2. Данные и знания.

3. Свойства, характеристики знаний. Процедурные и декларативные знания. Классификация знаний по глубине, по жесткости. Формализация знаний.
4. Формальные языки. Языки (модели) представления знаний.
5. Классификация моделей знаний и данных.
6. Определение интеллектуальных систем. Формализация знаний в интеллектуальных системах (ИС).
7. Классификация ИС.
8. Обобщённая функциональная структура ИС.
9. Основные (базовые) свойства и возможности.
10. Обобщённая типология интеллектуальных систем
11. Нечеткие множества, нечеткие величины, нечеткие числа.
12. Основные типы нечетких чисел.
13. Операции над нечеткими числами.
14. Сравнение нечетких чисел.
15. Понятие нечеткой функции.
16. Примеры прикладных задач с нечеткой информацией.
17. Задача нечеткой кластеризации.
18. Лингвистическая переменная.
19. Лингвистическая шкала.
20. Принцип «нечеткого большинства» и лингвистические кванторы.
21. Лингвистические операторы агрегирования информации.
22. Нечеткие системы: структура, база знаний, механизм вывода.
23. Понятие нечеткого высказывания и нечеткого предиката.
24. Нечеткие предикаты.
25. Основные логические операции с нечеткими высказываниями.
26. Логическое отрицание нечетких высказываний.
27. Логическая конъюнкция нечетких высказываний.
28. Логическая дизъюнкция нечетких высказываний.
29. Нечеткая импликация. Нечеткая эквивалентность.
30. Правила нечетких продукций.
31. Прямой и обратный методы вывода заключений в системах нечетких продуктов
32. Базовая архитектура систем нечеткого вывода.
33. Основные этапы нечеткого вывода.
34. Формирование базы правил систем нечеткого вывода.
35. Фаззификация (Fuzzification). Агрегирование (Aggregation).
36. Активизация (Activation). Аккумуляция (Accumulation).
37. Дефаззификация (Defuzzification).
38. Основные алгоритмы нечеткого вывода.
39. Алгоритм Мамдани (Mamdani).
40. Алгоритм Цукамото (Tsukamoto).
41. Алгоритм Ларсена (Larsen).
42. Алгоритм Сугено (Sugeno).
43. Примеры использования систем нечеткого вывода в задачах управления.
44. Общая характеристика задач кластерного анализа.
45. Задача нечеткой кластеризации и алгоритм ее решения.
46. Общая формальная постановка задачи нечеткого кластерного анализа.
47. Уточненная постановка задачи нечеткой кластеризации.
48. Алгоритм решения задачи нечеткой кластеризации методом нечетких c-средних.
49. Технология создания и использования интеллектуальных систем на базе теории нечеткой логики.

## **Контрольно-измерительный материал (пример)**

- 1.** Технология создания и использования интеллектуальных систем на базе теории нечеткой логики.
- 2.** Основные логические операции с нечеткими высказываниями.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели:

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом по курсу «Нечеткая логика и интеллектуальные системы»;
- 2) знание современных направлений исследований в области искусственного интеллекта;
- 3) владение технологиями планирования экспериментов в области решения прикладных задач с помощью интеллектуальных систем
- 4) владение навыками использования пакета MATLAB для решения задач;
- 5) владение навыками использования пакета Fuzzy Logic Toolbox для решения задач;
- 6) владение навыками работы с современными интеллектуальными информационными системами в области нечеткой логики
- 7) владение навыками написания отчетов по результатам проведенного эксперимента;
- 8) владение навыками интерпретации полученных результатов в терминах прикладной области с целью получения новых знаний и выводов.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), сдал все лабораторные работы.	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), но не сдал одну лабораторную работу.	Базовый уровень	Хорошо
Обучающийся демонстрирует неуверенное владение понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), не сдал две лабораторные работы.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, не сдал более двух лабораторных работ.	–	Неудовлетворительно