

Направление подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»  
Профиль «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети»  
РПД Б1.В.ДВ.02.02 «Основы нечеткого логического вывода»



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
в г. Смоленске**

**УТВЕРЖДАЮ**

Зам. директора  
по учебно-методической работе  
филиала ФГБОУ ВО

«НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

В.В. Рожков

« 28 » 08 20 19 г.



## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВЫ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА**

(наименование дисциплины)

Направление подготовки: **09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»**

Профиль **«Вычислительные машины, комплексы, системы и сети»**

Уровень высшего образования: **бакалавриат**

Нормативный срок обучения: **4 года**

Форма обучения: **очная**

Год набора: **2019**

Смоленск

Программа составлена с учетом ФГОС ВО по направлению подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», утвержденного приказом Минобрнауки России от «19» сентября 20 17 г. № 929

**Программу составил:**

  
\_\_\_\_\_ проф. В.В. Борисов  
подпись \_\_\_\_\_ ФИО

«24» июня 2019 г.

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры «Вычислительной техники»  
«26» июня 2019 г., протокол № 10

**Заведующий кафедрой «Вычислительная техника»:**

  
\_\_\_\_\_ А.С. Федулов  
подпись \_\_\_\_\_ ФИО

«02» июля 2019 г.

РПД адаптирована для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

**Ответственный в филиале по работе  
с ЛОВЗ и инвалидами**

  
\_\_\_\_\_ Е.В. Зуева  
подпись \_\_\_\_\_ ФИО

«02» июля 2019 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель** освоения дисциплины: подготовка обучающихся к научно-исследовательской, проектной деятельности по направлению подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» посредством обеспечения этапов формирования компетенций, предусмотренных ФГОС, в части представленных ниже знаний, умений и навыков.

**Задачи:** изучение понятийного аппарата дисциплины, основных теоретических положений и методов, привитие навыков применения теоретических знаний для решения практических задач.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина Основы нечеткого логического вывода относится к части В цикла Б1 к вариативной по выбору образовательной программы подготовки бакалавров по программе «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети» направления «Информатика и вычислительная техника».

Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами:

- Б1.В.12 «Основы теории управления»;
- Б1.В.ДВ.04.01 «Методы анализа данных»;
- Б1.В.ДВ.04.02 «Прикладная статистика»;
- Б1.В.9 «Введение в цифровую обработку сигналов»;
- Б1.В.10 «Моделирование»;
- Б1.В.ДВ.02.01 «Искусственные нейронные сети».

Перечень последующих дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной дисциплиной:

- Б1.В.ДВ.05.01 «Основы теории надежности»;
- Б1.В.ДВ.05.02 «Надежность и диагностика технических средств»;
- Б2.В.03(Н) «Научно-исследовательская работа»;
- Б2.В.04(Пд) «Преддипломная практика»;
- Б3.01 «Подготовка к защите и защита выпускной квалификационной работы».

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»:

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Компетенция	Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения
ПК-2. Способен владеть культурой научного исследования в области научной специальности, в том числе использованием новейших информа-	ПК-2	Знает: основные методы научно-исследовательской деятельности; Умеет: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах, оценивать поступающую информацию, независимо от источника, избегать автоматического применения стандартных формул при решении задач;



ционно-коммуникационных технологий		Владеет: навыками сбора, анализа информации по исследованию, навыками выбора методов решения задач исследования.
------------------------------------	--	--



#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### Структура дисциплины:

Скопировать из учебного плана по соответствующей ОП:

№ п.п.	Индекс	Наименование дисциплины	Курс	Курс	Контроль	Академических часов						з.е.	Компетенции	Группа	
						Контакт	Конг акт	Лек	Лаб	Пр	КРП				СР
40	Б1.В.ДВ.02.02	Основы нечеткого вывода	4	7	Экз РГР	180	66	34	16	16	78	36	5	ПК-2	ВМ-19

##### ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Виды промежуточной аттестации (виды контроля):

Экз - экзамен;

ЗаО - зачет с оценкой;

За - зачет;

##### Виды работ:

Контакт. – контактная работа обучающихся с преподавателем;

Лек. – лекционные занятия;

Лаб.– лабораторные работы;

Пр. – практические занятия;

КРП – курсовая работа (курсовой проект);

РГР – расчетно-графическая работа (реферат);

СР – самостоятельная работа студентов;

з.е.– объем дисциплины в зачетных единицах.

**Содержание дисциплины:**

№	Наименование видов занятий и тематик, содержание
1	<p>лекционные занятия в осеннем семестре 17 шт. по 2 часа:</p> <p>1.1. Понятие системы. Классификация и характеристика систем.</p> <p>1.2. Понятие и определения системы. Основные понятия и определения теории множеств. Определение и обозначение множества.</p> <p>1.3. Основные операции над множествами. Свойства операций над множествами. Основные понятия и определения теории нечетких множеств.</p> <p>1.4. Определение и обозначение нечеткого множества. Способы задания нечетких множеств. Основные характеристики нечетких множеств.</p> <p>1.5. Определение и характеристики нечетких чисел. Операции над нечеткими числами на основе интервального метода.</p> <p>1.6. Операции над нечеткими числами на основе принципа нечеткого обобщения Л. Заде.</p> <p>1.7. Определения, типы и способы представления нечетких отношений. Типы нечетких отношений. Способы представления нечетких отношений. Основные понятия. Операции над нечеткими отношениями. Свойства нечетких унарных отношений.</p> <p>1.8. Нечеткие продукционные модели. Определение, компоненты нечетких продукционных моделей. Схемы нечеткого вывода.</p> <p>1.9. Создание базы нечетких продукционных правил. Введение нечеткости. Агрегирование степеней истинности нечетких высказываний предпосылок по каждому правилу. Активизация заключений правил.</p> <p>1.10. Аккумуляция активизированных заключений правил. Приведение к четкости. Параметрическая оптимизация конечной базы нечетких правил.</p> <p>1.11. Сопоставление интеллектуальных технологий (моделей). Основные направления развития нечетких технологий.</p> <p>1.12. Основные направления развития нейросетевых технологий. Классификация нечетких нейронных продукционных моделей.</p> <p>1.13. Нечеткие нейронные продукционные сети с параметрической оптимизацией правил на основе алгоритмов обучения.</p> <p>1.14. Нечеткие нейронные продукционные сети типа ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System).</p> <p>1.15. Классификация нейронных нечетких моделей. Нейронные нечеткие сети с введением нечеткости в структуру.</p> <p>1.16. Нейронные нечеткие сети с надделением нейронов нечеткостью. Нейронные нечеткие сети на основе нейронов, реализующих нечеткие операции. Нейроны, реализующие нечеткие операции.</p> <p>1.17. Типы проблемно-ориентированных нечетких моделей. Нечеткие оценочные модели. Нечеткие байесовские сети.</p>
2	<p>лабораторные работы в осеннем семестре 8 шт. по 2 часа:</p> <p>2.1. Работа с FIS-структурами в рамках Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB</p> <p>2.2. Ознакомление с редактором FIS на демонстрационном примере.</p> <p>2.3. Работа с FIS-структурами в рамках Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB. Вычисление результата логического вывода, часть 1.</p> <p>2.4. Работа с FIS-структурами в рамках Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB. Вычисление результата логического вывода, часть 2.</p> <p>2.5. Построение нечеткой продукционной модели средствами Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB, часть 1.</p>

	<p>2.6. Построение нечеткой продукционной модели средствами Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB, часть 2.</p> <p>2.7. Обучение нечеткой продукционной модели с использованием ANFIS-модели средствами Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB.</p> <p>2.8. Анализ аппроксимационных свойств нечеткой продукционной модели средствами Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB.</p>
3	<p>практические занятия в осеннем семестре 8 шт. по 2 часа:</p> <p>3.1. Классификация систем. Классификация моделей систем. Стандартные операции над нечеткими множествами. Свойства стандартных операций над нечеткими множествами.</p> <p>3.2. Нечеткие треугольные числа. Нечеткие трапециевидальные числа.</p> <p>3.3. Разновидности нечетких унарных отношений (эквивалентности, неэквивалентности, сходства, различия, предпорядка, порядка. Нечеткие морфизмы между нечеткими отношениями. «Распространение» нечеткости нечеткого множества с использованием бинарных отношений.</p> <p>3.4. Алгоритмы прямого нечеткого продукционного вывода (Мамдани, Ларсена, Цукамото, Сугэно 0-го порядка, Такаги–Сугэно). Аппроксимационные свойства нечетких продукционных моделей и алгоритмов вывода на их основе.</p> <p>3.5. Основные направления развития технологий эволюционного моделирования Методы гибридизации интеллектуальных технологий (моделей). Нечеткая нейронная продукционная сеть Ванга–Менделя.</p> <p>3.6. Нечеткая нейронная продукционная сеть Такаги–Сугэно–Канга. Нечеткие нейронные продукционные сети с реализацией компонентов на основе нейросетевой технологии.</p> <p>3.7. Разновидности нейронных нечетких сетей на основе нейронов, реализующих нечеткие операции: нейро-нечеткие классификаторы; нейронные нечеткие сети для деревьев классификации; нейронные нечеткие сети для композиционных правил вывода; нейронные нечеткие сети для извлечения правил из данных.</p> <p>3.8. Нечеткие сети Петри. Нечеткие ситуационные сети.</p>
4	<p>Расчетно-графическая работа:                  «Сравнение аппроксимационных свойств FIS-структур»</p>
5	<p>Самостоятельная работа студентов:</p> <p>5.1. Изучение материалов лекций;</p> <p>5.2. Подготовка к защите лабораторных работ;</p> <p>5.3. Подготовка к практическим занятиям;</p> <p>5.4. Выполнение расчетно-графической работы;</p> <p>5.5. Подготовка к экзамену по дисциплине (оценочные материалы приведены в разделе 6 настоящей РПД).</p>

**Текущий контроль:** устный опрос на каждой лекции по материалам предыдущей пары, защита лабораторных работ.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Таблица - Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной занятий по дисциплине

№ п/п	Виды учебных занятий	Образовательные технологии
1	Лекции	Классическая (традиционная, информационная) лекция
2	Лабораторная работа	Технология выполнения лабораторных заданий индивидуально  Допуск к лабораторной работе
3	Практические занятия	Технология обучения на основе решения задач и выполнения упражнений
4	Самостоятельная работа студентов (внеаудиторная)	Информационно-коммуникационные технологии (доступ к ЭИОС филиала, к ЭБС филиала, доступ к информационно-методическим материалам по дисциплине)
5	Контроль (промежуточная аттестация: экзамен)	Технология письменного контроля, в том числе тестирование

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ – ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

К промежуточной аттестации студентов по дисциплине могут привлекаться представители работодателей, преподаватели последующих дисциплин, заведующие кафедрами.

Оценка качества освоения дисциплины включает как текущий контроль успеваемости, так и промежуточную аттестацию.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости:

### Краткое содержание РГР:

Задача заключается в тестировании и сравнении FIS-структур, работающих по алгоритмам Мамдани, Сугэно 0-го порядка и Сугэно 1-го порядка (для каждого задания выбрано по две структуры) и способов дефаззификации. Сравнение проводится по точности аппроксимации заданной функции  $y = f(x_1, x_2)$  (задания 1-12, см. табл. рз.1) и устойчивости результата относительно изменения функций принадлежности (задания 13-24) для различного количества правил. Процедуры и функции всех основных и вспомогательных расчётов, генерации FIS-структур, построения графиков, а также результаты расчётов в обязательном порядке вносятся в расчётно-пояснительную записку. Результаты расчётов также должны быть предоставлены в электронном виде (можно в виде сохранённого состояния рабочей области Matlab).

1. В соответствии с индивидуальным заданием построить по 100 FIS-структур каждого типа. FIS-структуры должны отвечать следующим требованиям:

- 1.1. Способ реализации импликации – произведение
- 1.2. Способ реализации агрегации – сумма
- 1.3. Способы реализации нечётких логических “И” и “ИЛИ” должны совпадать для моделей обоих типов
- 1.4. Способы дефаззификации определяются индивидуальным заданием
- 1.5. Число термов по каждой входной переменной не менее 4.
- 1.6. Количество правил в базе знаний не более 50.
- 1.7. Правила для моделей обоих типов совпадают, за исключением функций принадлежности заключений и задаются следующим образом:

1.7.1. Определяются аналитически или по графику точки экстремума функции  $y = f(x_1, x_2)$ .

1.7.2. Каждой точке экстремума  $(x_1', x_2')$  ставится в соответствие пара функций принадлежности термов соответствующих входных лингвистических переменных.

Параметры функций принадлежности имеют вид:

- $(x' - \varepsilon, x', x' + \varepsilon)$  – для треугольных функций принадлежности;
- $(x' - d - \varepsilon, x' - d, x' + d, x' + d + \varepsilon)$  – для трапецидальных;
- $(\varepsilon, x')$  – для гауссовых;
- $(\varepsilon, x' - d, \varepsilon, x' + d)$  – для двусторонних гауссовых.

Здесь  $d$  – параметр, характеризующий ширину модальной области для трапецидальных и двусторонних гауссовых функций принадлежности, параметр устанавливается одинаковым по всем функциям принадлежности и выбирается по собственному усмотрению;  $\varepsilon$  – коэффициент нечёткости одинаковый для восходящей и нисходящей ветвей функции принадлежности. Параметр  $\varepsilon$  генерируется в соответствии с заданным законом распределения ровно 100 раз, каждое значение используется для всех функций принадлежности в моделях обоих типов.

Таким образом, значения  $x_1'$  и  $x_2'$  задают центры модальных областей для соответствующих термов  $T_1'$  и  $T_2'$ . В дальнейшем, подобны значения  $x_1'$  и  $x_2'$  будем называть опорными для соответствующих термов.

1.7.3. В случае если для заданий, использующих трапецидальные или двусторонние гауссовы функции принадлежности, координаты нескольких точек экстремума по какой-либо переменной лежат в пределах отрезка шириной  $2d$ , то допускается сопоставить им один терм.

1.7.4. Если после описания точек экстремума остаются области значений переменных, которые не описываются ни одним из термов соответствующей лингвистической переменной, следует ввести дополнительные термы; центры модальных областей дополнительных термов выбираются произвольно.

1.7.5. Для каждого сочетания термов входных переменных  $(T_1', T_2')$  определяется значение аппроксимируемой функции в их опорных значениях:  $y' = f(x_1', x_2')$ . Значение  $y'$  является опорным для значения выходной переменной – заключения правила вида:  
 Если  $x_1$  есть  $T_1'$ , и  $x_2$  есть  $T_2'$ , то  $y$  есть  $T_y'$

1.7.6. Значения выходной переменной определяются следующим образом:

- для системы Сугэно 0-го порядка выходным значением является константа:  
 $T_y' : c' = y' = f(x_1', x_2')$ .

- для системы Сугэно 1-го порядка выходным значением является линейная функция от входных переменных:  $T_y' : f'(x_1, x_2) = c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + c_0$ , где коэффициенты  $c_1$ ,  $c_2$ , и  $c_0$  подбираются из условия:  $f'(x_1', x_2') = f(x_1', x_2')$ , при этом линейные коэффициенты  $c_1$  и  $c_2$  не могут быть одновременно равными 0.

- для системы Мамдани выходным значением является нечёткая переменная (терм)  $T_y'$ , которая задаётся по опорному значению по аналогии с термами входных переменных.

1.7.7. Если опорные значения выходной переменной для нескольких сочетаний термов входных переменных совпадают (для FIS типа Сугэно 0-го, 1-го порядков или Мамдани для случая треугольных или гауссовых функций принадлежности) или находятся в пределах отрезка шириной  $2d$ , допускается уменьшить количество правил за счёт применения логических связок “Или” и “Не”.

1.8. В расчётно-пояснительную записку следует внести примеры моделей обоих типов для какого-либо одного значения  $\varepsilon$ . Примеры должны содержать общие настройки FIS, изображения и описания параметров термов входных и выходных переменных, список правил (изображение базы правил), изображение процесса логического вывода, изображение поверхности вывода рядом с трёхмерным графиком аппроксимируемой функции.

1.9. Требуется построить гистограмму сгенерированных значений параметра  $\varepsilon$ , рассчитать для

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{N_\varepsilon} \sum_{i=1}^{N_\varepsilon} \varepsilon_i$$

него выборочное среднее: и исправленную оценку СКО (корень из исправ-

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{N_\varepsilon - 1} \sum_{i=1}^{N_\varepsilon} (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}$$

ленной оценки дисперсии относительно выборочного среднего):

где  $N_\varepsilon = 100$  – размер выборки коэффициента нечёткости.

2. Для каждого из 100 испытаний протестировать структуры обоих типов по набору значений, соответствующему равномерной сетке в диапазоне  $[-3; 3]$  по каждой переменной с шагом 0.1.

2.1. Рассчитать значения результата логического вывода для каждого экземпляра моделей обоих типов в каждой тестовой точке, результаты представить в виде двух массивов:

$$y_{i,j}^1 = \text{fis}_j^1(x_i^1, x_i^2), i = \overline{1, N_x}, j = \overline{1, N_\varepsilon} \quad \text{и} \quad y_{i,j}^2 = \text{fis}_j^2(x_i^1, x_i^2), i = \overline{1, N_x}, j = \overline{1, N_\varepsilon}$$

где  $\text{fis}_j^1$  и  $\text{fis}_j^2$  – функции, реализуемые системами логического вывода первого и второго

тестируемого типа для коэффициента нечёткости  $\varepsilon_i$ ,  $N_x = 361201$  – число тестовых точек.

2.2. В заданиях 1-12 для каждого испытания определить модуль отклонения результата каждой

модели от точного значения функции в каждой точке:  $d_{i,j}^1 = \sqrt{(y_{i,j}^1 - f(x_i^1, x_i^2))^2}$  и  $d_{i,j}^2 = \sqrt{(y_{i,j}^2 - f(x_i^1, x_i^2))^2}$ , для каждой модели определить максимальный модуль отклонения:

$$dmax_j^1 = \max_{i=1, N_x} d_{i,j}^1 \quad \text{и} \quad dmax_j^2 = \max_{i=1, N_x} d_{i,j}^2, \quad \text{выборочное среднее:} \quad \bar{d}_j^1 = \frac{1}{N_x} \sum_{i=1}^{N_x} d_{i,j}^1 \quad \text{и} \quad \bar{d}_j^2 = \frac{1}{N_x} \sum_{i=1}^{N_x} d_{i,j}^2,$$

$$\sigma d_j^1 = \sqrt{\frac{1}{N_x - 1} \sum_{i=1}^{N_x} (\bar{d}_j^1 - d_{i,j}^1)^2} \quad \text{и} \quad \sigma d_j^2 = \sqrt{\frac{1}{N_x - 1} \sum_{i=1}^{N_x} (\bar{d}_j^2 - d_{i,j}^2)^2}$$

исправленную оценку СКО:

2.3. В заданиях 13-24 по результатам 100 испытаний выборочное среднее результата каждой

$$\bar{y}_i^1 = \frac{1}{N_\varepsilon} \sum_j y_{i,j}^1 \quad \text{и} \quad \bar{y}_i^2 = \frac{1}{N_\varepsilon} \sum_j y_{i,j}^2,$$

модели для каждой точки:

(корень из исправленной оценки дисперсии относительно выборочного среднего):

$$\sigma y_i^1 = \sqrt{\frac{1}{N_\varepsilon - 1} \sum_j (\bar{y}_i^1 - y_{i,j}^1)^2} \quad \text{и} \quad \sigma y_i^2 = \sqrt{\frac{1}{N_\varepsilon - 1} \sum_j (\bar{y}_i^2 - y_{i,j}^2)^2}$$

3. Провести дополнительную обработку результатов.

3.1. В заданиях 1-12 для каждой модели построить графики зависимости максимального модуля отклонения  $dmax_j^1$  и  $dmax_j^2$ , выборочного среднего модуля отклонения  $\bar{d}_j^1$  и  $\bar{d}_j^2$ , исправленной оценки СКО  $\sigma d_j^1$  и  $\sigma d_j^2$  от  $\varepsilon_j$ . Охарактеризовать полученные зависимости, как по отдельности, так и в сравнении по типам моделей. Определить по всем испытаниям

и точкам для каждого типа модели максимальный модуль отклонения:  $d_{\max}^1 = \max_{i,j} d_{i,j}^1$  и

$$d_{\max}^2 = \max_{i,j} d_{i,j}^2, \quad \text{выборочное среднее:} \quad \bar{d}^1 = \frac{1}{N_x \cdot N_\varepsilon} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_j d_{i,j}^1 \quad \text{и} \quad \bar{d}^2 = \frac{1}{N_x \cdot N_\varepsilon} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_j d_{i,j}^2, \quad \text{исправ-$$

ленную оценку СКО:

$$\sigma_{d^2} = \sqrt{\frac{1}{N_x \cdot N_\varepsilon - 1} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_j (\bar{d}^2 - d_{i,j}^2)^2}$$

. Сравнить аппроксимационные свойства моделей по соотношению найденных значений.

3.2. В заданиях 13-24 для каждого типа модели построить трёхмерные графики выборочного

среднего результата модели  $\bar{y}_i^2$  и  $\bar{y}_i^1$ , исправленной оценки СКО  $\sigma y_i^1$  и  $\sigma y_i^2$  в тестируемых точках. Построить гистограммы СКО результатов в тестируемых точках  $\sigma y_i^1$  и  $\sigma y_i^2$

для каждого типа моделей.  $\sigma y_i^1$  и  $\sigma y_i^2$ . Охарактеризовать полученные зависимости, как по отдельности, так и в сравнении по типам моделей. Найти выборочное среднее от поточеч-

ных СКО:  $\bar{\sigma y}^1 = \frac{1}{N_x} \sum_{i=1}^{N_x} \sigma y_i^1$  и  $\bar{\sigma y}^2 = \frac{1}{N_x} \sum_{i=1}^{N_x} \sigma y_i^2$ . Определить итоговое СКО результата как

среднеквадратичное отклонение поточечных СКО от их среднего выборочного значения:

$$\sigma \sigma^1 = \sqrt{\frac{1}{N_x - 1} \sum_{i=1}^{N_x} (\bar{\sigma y}^1 - \sigma y_i^1)^2} \quad \text{и} \quad \sigma \sigma^2 = \sqrt{\frac{1}{N_x - 1} \sum_{i=1}^{N_x} (\bar{\sigma y}^2 - \sigma y_i^2)^2}$$

. Сравнить устойчивость ре-

результатов, показанных моделями разных типов по соотношению итогового СКО и СКО

коэффициента нечеткости:  $\frac{\sigma\sigma^1}{\sigma\varepsilon}$  и  $\frac{\sigma\sigma^2}{\sigma\varepsilon}$ .

Список аппроксимируемых функций:

1. 
$$y = 3(1 - x_1)^2 \cdot e^{-x_1^2 - (x_2+1)^2} - 10(0.2x_1 - x_1^3 - x_2^5) \cdot e^{-x_1^2 - x_2^2} - \frac{e^{-(x_1+1)^2 - x_2^2}}{3},$$

2. 
$$y = \frac{1}{4}(x_1 + x_2)^2 \cdot e^{-\sin(x_1+x_2+1)^2} + 5(x_1 + 3x_2^2 + 2x_1 \cdot x_2) \cdot e^{-x_1^2 - x_2^2},$$

3. 
$$y = 3 \sin(x_1 + x_2) \cdot \cos(x_1 + x_2)^2 e^{-(x_1+x_2+1)^2} + 3(x_1 + 3x_1^2 + x_1 \cdot x_2) \cdot e^{-x_1^2 - x_2^2},$$
  
 $x_1, x_2 \in [-3; 3].$

### Примеры вопросов к защите РГР:

1. Определение нечеткой продукционной модели. Компоненты нечетких продукционных моделей.
2. Прямой нечеткий вывод: правило «нечеткий модус поненс», этапы. Обратный нечеткий вывод: правило «нечеткий модус толенис», этапы.
3. Классы операций нечеткой импликации. Критерии оценки нечеткой импликации.
4. Основные задачи создания базы нечетких продукционных правил.
5. Основные компоненты нечетких продукционных моделей. Введение нечеткости. Агрегирование степени истинности предпосылок правил, основные операции. Активизация заключений правил, основные операции. Аккумуляция активизированных заключений правил. Приведение к четкости, классификация методов дефаззификации. Параметрическая оптимизация конечной базы нечетких правил.
6. Алгоритмы нечеткого вывода: Мамдани, Ларсена, Цукамото, Такаги–Сугено. Аппроксимационные свойства нечетких продукционных моделей.

Оценочные средства для промежуточной аттестации:

### Примеры вопросов к экзамену по дисциплине:

1. Определение, обозначение, способы задания и примеры нечетких множеств.
2. Основные характеристики нечетких множеств (носитель нечеткого множества, высота нечеткого множества, нормальное и субнормальное нечеткое множество, унимодальное нечеткое множество, точка перехода нечеткого множества, ядро нечеткого множества, синглтон).
3. Нечеткое множество  $\mu$ -типа. Множество  $\alpha$ -уровня. Модуль нечеткого множества (скалярная мощность, относительная мощность).
4. Стандартные операции над нечеткими множествами, их определения (равенство; включение; строгое включение; дополнение; пересечение; объединение; разность; дизъюнктивная сумма; четкое множество, ближайшее к нечеткому множеству; декартово произведение нечетких множеств).
5. Свойства стандартных операций над нечеткими множествами (инволютивность, коммутативность, ассоциативность, дистрибутивность, идемпотентность, поглощение, тождественность, закон де Моргана, эквивалентность, симметричная разностная формула).
6. Расширенные операции над нечеткими множествами:
  - операции дополнения нечеткого множества (стандартное нечеткое дополнение, нечеткое дополнение Ягера);

- операции пересечения нечетких множеств (стандартное нечеткое пересечение, нечеткое пересечение Ягера, алгебраическое произведение, граничное произведение, драстическое произведение,  $\lambda$ -сумма).

- операции объединения нечетких множеств (стандартное нечеткое объединение, нечеткое объединение Ягера, алгебраическая сумма, граничная сумма, драстическая сумма,  $\lambda$ -сумма).

7. Операции определения сходства/различия между нечеткими множествами (нечеткая разность, дизъюнктивная сумма, ограниченная разность, несвязная сумма), определения, примеры.

8. Расстояние между нечеткими множествами (нечеткое хэммингово расстояние, относительное хэммингово расстояние, нечеткое евклидово расстояние, относительное евклидово расстояние, нечеткое расстояние Минковского).

9. Дополнительные операции над нечеткими множествами (умножение на число, возведение в степень, концентрирование, растяжение, выпуклая комбинация).

10. Операции  $t$ - и  $s$ -норм над нечеткими множествами, определения, свойства, примеры.

11. Показатели размытости нечетких множеств, их классификация, примеры.

12. Определение и характеристики нечетких чисел (интервал  $\alpha$ -уровня нечеткого числа, носитель, унимодальное нечеткое число, толерантное нечеткое число, нечеткий нуль, нечеткое положительное и отрицательное число).

13. Декомпозиция нечеткого числа.

14. Операции над нечеткими числами на основе интервального метода. Принцип нечеткого обобщения Л. Заде. Операции над нечеткими числами на основе принципа нечеткого обобщения Л. Заде.

15. Треугольные нечеткие числа (определение, операции).

16. Трапецеидальные нечеткие числа (определение, операции).

17. Нечеткие числа ( $L$ - $R$ )-типа (определение, операции).

18. Определения и основные понятия нечетких отношений. Способы представления унарных и бинарных нечетких отношений. Отношение  $\alpha$ -уровня нечеткого отношения.

19. Декомпозиция, проекция и цилиндрическое продолжение нечеткого отношения.

20. Операции над нечеткими отношениями (объединение; пересечение; алгебраическое произведение; алгебраическая сумма; дополнение; дизъюнктивная сумма; инверсия; четкое отношение, ближайшее к нечеткому отношению; композиция, разновидности композиций).

21. Свойства нечетких унарных отношений (рефлексивность, симметричность, транзитивность). Транзитивное замыкание нечетких унарных отношений.

22. Нечеткое отношение эквивалентности (определение, примеры).

23. Нечеткое отношение сходства (определение, примеры).

24. Нечеткое отношение предпорядка (определение, примеры). Нечеткое отношение порядка (определение, примеры).

25. Нечеткий гомоморфизм между нечеткими унарными отношениями.

26. Нечеткие графы. Разновидности нечетких графов, их характеристики.

27. Определение нечеткой продукционной модели. Компоненты нечетких продукционных моделей.

28. Прямой нечеткий вывод: правило «нечеткий модус поненс», этапы. Обратный нечеткий вывод: правило «нечеткий модус толенс», этапы.

29. Классы операций нечеткой импликации. Критерии оценки нечеткой импликации.

30. Основные задачи создания базы нечетких продукционных правил.

31. Формирование нечетких (простых и составных) высказываний в предпосылках и заключениях правил.

32. Классификация лингвистических продукционных правил.

33. Классификация нечетких продукционных правил с заключениями в виде четких значений или функций.

34. Типы структур базы нечетких продукционных правил (SISO-, MISO-, MIMO-структуры).
35. Способы деления пространства предпосылок нечетких продукционных правил.
36. Каскадное соединение баз нечетких продукционных правил.
37. Обеспечение полноты и непротиворечивости базы нечетких правил.
38. Основные компоненты нечетких продукционных моделей. Введение нечеткости. Агрегирование степени истинности предпосылок правил, основные операции. Активизация заключений правил, основные операции. Аккумуляция активизированных заключений правил. Приведение к четкости, классификация методов дефаззификации. Параметрическая оптимизация конечной базы нечетких правил.
39. Алгоритмы нечеткого вывода: Мамдани, Ларсена, Цукамото, Такаги–Сугено. Аппроксимационные свойства нечетких продукционных моделей.
40. Определение нечетких нейронных продукционных сетей. Классификация способов интеграции нечетких продукционных моделей с нейронными сетями.
41. Нечеткие нейронные продукционные сети типа ANFIS (описание, структура, обучение).
42. Нечеткая нейронная продукционная сеть Ванга–Менделя (описание, структура, обучение).
43. Нечеткая нейронная продукционная сеть Такаги–Сугено–Канга (описание, структура, обучение).
44. Построение функций принадлежности предпосылок и заключений нечетких продукционных правил на основе нейронных сетей. Формирование предпосылок нечетких продукционных правил на основе нейронных сетей. Формирование заключений нечетких продукционных правил на основе нейронных сетей.
45. Разбиение пространств входных переменных и формирование многомерных функций принадлежности предпосылок на основе нейронных сетей.
46. Определение нечетких нейронных продукционных сетей. Классификация способов интеграции нечетких продукционных моделей с нейронными сетями.
47. Нечеткие нейронные продукционные сети типа ANFIS (описание, структура, обучение).
48. Нечеткая нейронная продукционная сеть Ванга–Менделя (описание, структура, обучение).
49. Нечеткая нейронная продукционная сеть Такаги–Сугено–Канга (описание, структура, обучение).
50. Построение функций принадлежности предпосылок и заключений нечетких продукционных правил на основе нейронных сетей. Формирование предпосылок нечетких продукционных правил на основе нейронных сетей. Формирование заключений нечетких продукционных правил на основе нейронных сетей.
51. Разбиение пространств входных переменных и формирование многомерных функций принадлежности предпосылок на основе нейронных сетей.
52. Определение нейронных нечетких сетей. Способы введения нечеткости в компоненты нейронных сетей.
53. Нейронные нечеткие сети с введением нечеткости в структуру нейронных сетей. Нечеткий многослойный перцептрон.
54. Нейронные нечеткие сети на основе нечетких нейронов. Обычная (regular) нейронная нечеткая сеть. Нечеткие нейроны Квана и Кэи.
55. Нейронные нечеткие сети на основе нейронов, реализующих нечеткие операции. Определение. Примеры нейронов, реализующих нечеткие операции.
56. Гибридный нейро-нечеткий классификатор.
57. Деревья классификации на основе гибридных нейронных нечетких сетей.

58. Гибридные нейронные нечеткие сети для реализации композиционных правил вывода.
59. Гибридные нейронные нечеткие сети для извлечения нечетких правил из данных.
60. Нечеткая ассоциативная память Б. Коско.
61. Алгоритм постепенно возрастающего разбиения.
62. Обучение нейронных нечетких сетей. Классификация подходов к обучению нейронных нечетких сетей.
63. Обучение нейронных нечетких сетей на основе алгоритма с обратным распространением ошибки.
64. Обучение нейронных нечетких сетей с нечеткими входами и выходами и четкими весовыми коэффициентами.
65. Использование нечетких продукционных сетей в нейронных сетях. CANFIS-сеть.
66. Знаковые когнитивные карты (определение, построение, решаемые задачи, развитие знаковых когнитивных карт). Нечеткие когнитивные карты Б. Коско (определение, построение, модель динамики, решаемые задачи).
67. Нечеткие когнитивные карты В. Силова (определение, построение, системные характеристики, решаемые задачи).
68. Нечеткие сети Петри. Определение. Классификация. Задачи, решаемые с использованием нечетких сетей Петри.
69. Нечеткие байесовские сети (определение, способы введения нечеткости в байесовские сети, нечеткое байесово правило).
70. Нечеткие ситуационные сети. Определение. Представление нечеткой ситуации. Задачи, решаемые с использованием нечетких ситуационных сетей.

В филиале используется система с традиционной шкалой оценок – "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно", "зачтено", "не зачтено" (далее - пятибалльная система).

Форма промежуточной аттестации по настоящей дисциплине – **экзамен**.

Применяемые критерии оценивания по дисциплинам (в соответствии с инструктивным письмом НИУ МЭИ от 14 мая 2012 года № И-23):

Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
«отлично»/ «зачтено (отлично)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины, правильно выполнившему практическое задание. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «эталонный».

Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
«хорошо»/ «зачтено (хорошо)»/ «зачтено»	<p>Выставляется обучающемуся, обнаружившему полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющему предусмотренные задания, усвоившему основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнивший практическое задание, но допустивший при этом непринципиальные ошибки. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля.</p> <p>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «продвинутый».</p>
«удовлетворительно»/ «зачтено (удовлетворительно)»/ «зачтено»	<p>Выставляется обучающемуся, обнаружившему знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющемуся с выполнением заданий, знакомому с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившему погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающему необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившего практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившего другие практические задания из того же раздела дисциплины..</p> <p>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «пороговый».</p>
«неудовлетворительно»/ не зачтено	<p>Выставляется обучающемуся, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы и неправильно выполнившего практическое задание (неправильное выполнение только практического задания не является однозначной причиной для выставления оценки «неудовлетворительно»). Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля.</p> <p>Компетенции на уровне «пороговый», закреплённые за дисциплиной, не сформированы.</p>

## **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Учебное и учебно-лабораторное оборудование**

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; демонстрационным оборудованием: персональным компьютером (ноутбуком); переносным (стационарным) проектором

Учебная аудитория для лабораторных работ, выполняемых в компьютерном классе, оснащенная:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; персональными компьютерами с подключением к сети "Интернет" и доступом в ЭИОС филиала.

Для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине используется помещение для самостоятельной работы обучающихся, оснащенное:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; персональными компьютерами с подключением к сети "Интернет" и доступом в ЭИОС филиала.

### **Программное обеспечение**

При проведении практических и лабораторных работ предусматривается использование персональных компьютеров, оснащенных необходимым комплектом лицензионного программного обеспечения: программы общего назначения: Microsoft Office (Word, Excel), MatLab; а также открытым программным обеспечением: эконометрический пакет программ Gretl.

## **8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ**

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

### **для слепых и слабовидящих:**

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением, или могут быть заменены устным ответом;
- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;
- для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

### **для глухих и слабослышащих:**

- лекции оформляются в виде электронного документа;
- письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
- экзамен и зачёт проводятся в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.

### **для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере;
- используется специальная учебная аудитория для лиц с ЛОВЗ – ауд. 106 главного учебного корпуса по адресу 214013, г. Смоленск, Энергетический пр-д, д.1, здание энергетического института (основной корпус).

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения предусматривается использование технических средств, необходимых в связи с индивидуальными особенностями обучающихся. Эти средства могут быть предоставлены филиалом, или могут использоваться собственные технические средства.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

### **для слепых и слабовидящих:**

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;

- в форме аудиофайла.

**для глухих и слабослышащих:**

- в печатной форме;

- в форме электронного документа.

**для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в печатной форме;

- в форме электронного документа;

- в форме аудиофайла.

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература.**

1. Федулов А.С., Борисов В.В., Зернов М.М., Методические указания к лабораторным работам по курсу «Нечеткие модели и сети». – Смоленск: РИО филиала ГОУВПО «МЭИ(ТУ)» в г. Смоленске, 2009. – 72 с. (50 экз.)

2. Федулов А.С., Борисов В.В., Зернов М.М., Методические указания к расчетному заданию по курсу «Нечеткие модели и сети». – Смоленск: РИО филиала ГОУВПО «МЭИ(ТУ)» в г. Смоленске, 2009. – 63 с. (50 экз.)

### **Список авторских методических разработок.**

1. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы нечеткой математики. Часть 1. Основы теории нечетких множеств. Учебное пособие по дисциплине «Нечеткие модели и сети» [Текст]: учебное пособие. – Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2013. – 72 с. (100 экз.)

2. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы нечеткой математики. Часть 2. Основы нечеткой арифметики. Учебное пособие по дисциплине «Нечеткие модели и сети» [Текст]: учебное пособие. – Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2013. – 52 с. (100 экз.)

3. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы нечеткой математики. Часть 3. Основы теории нечетких отношений. Учебное пособие по дисциплине «Нечеткие модели и сети» [Текст]: учебное пособие. – Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2013. – 84 с. (100 экз.)

4. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы нечеткой математики. Часть 4. Основы нечеткого логического вывода. Учебное пособие по дисциплине «Нечеткие модели и сети» [Текст]: учебное пособие. – Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2014. – 102 с. (100 экз.)

5. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы теории нечетких множеств. Серия «Основы нечеткой математики». Книга 1. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2014. – 88 с. (2 экз.)

6. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы нечеткой арифметики. Серия «Основы нечеткой математики». Книга 2. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2014. – 98 с. (2 экз.)

7. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы теории нечетких отношений. Серия «Основы нечеткой математики». Книга 3. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2014. – 86 с. (2 экз.)

8. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы нечеткого логического вывода. Серия «Основы нечеткой математики». Книга 4. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2014. – 122 с. (2 экз.)

9. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы гибридизации нечетких моделей. Серия «Основы нечеткой математики». Книга 9. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2017. – 100 с. (2 экз.)

9. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. Нечеткие модели и сети. 2-е изд. стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 284 с. (2 экз.)



### ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Но- мер изме- мене- ния	Номера страниц				Всего стра- ниц в доку- менте	Наименование и № документа, вводящего изменения	Подпись, Ф.И.О. внесшего измене- ния в данный эк- земпляр	Дата внесения из- менения в данный эк- земпляр	Дата введения из- менения
	изме- нен- ных	заме- нен- ных	но- вых	анну- лиро- ванн- ых					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10