Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 31.05.2024 13:54:53
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет машиностроения

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета машиностроения
_____ /Е.В. Сафонов/
«15» февраля 2024 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# «Нечеткая логика в управлении техническими системами»

Направление подготовки
**27.04.04.«Управление в технических системах»**

Образовательная программа (профиль подготовки)
**«Автономные информационные управляющие системы»**

Квалификация (степень) выпускника
**Магистр**

Форма обучения
**Очная**

Москва, 2024 г.

**Разработчик(и):**

к.т.н., доцент_____ А.В. Кузнецов

**Согласовано:**

Заведующий кафедрой «Автоматика и управление»,
д.т.н., профессор /А.А. Радионов/

## Содержание

..... 3
1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине ..... 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы ..... 4
3. Структура и содержание дисциплины ..... 4
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение ..... 7
5. Материально-техническое обеспечение ..... 8
6. Методические рекомендации ..... 8
7. Фонд оценочных средств ..... 10

## 1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

К основным целям освоения дисциплины «Нечеткая логика в управлении техническими системами» следует отнести:

– формирование у студентов знаний общих принципов, методов и алгоритмов, применяемых в системах управления, использующих искусственный интеллект (ИИ);

– подготовку студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра по направлению.

Обучение по дисциплине «Нечеткая логика в управлении техническими системами» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

| Код и наименование компетенций | Индикаторы достижения компетенции |
|---|---|
| ОПК-8. Способен выбирать методы и разрабатывать системы управления сложными техническими объектами и технологическими процессами | ИОПК-8.1. Знает основные понятия, направления развития, принципы создания систем ИИ, их разновидностей и классификации; принципы построения и способы применения ЭС, формализованных систем, семиотических систем, ИНС, нечетких систем для управления техническими объектами; существующие методы и алгоритмы ИИ, применяемые в технических системах;<br>ИОПК-8.2. Умеет выбирать методы и разрабатывать алгоритмы решения задач управления с применением ИИ в технических системах; производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств интеллектуальных СУ для решения задач управления в технических системах;<br>ИОПК-8.3. Владеет навыками по практическому применению методов и алгоритмов ИИ для решения задач управления в технических системах; |

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Нечеткая логика в управлении техническими системами» относится к дисциплинам обязательной части (Блока 1) основной образовательной программы бакалавриата; изучается в 3 семестре.

Дисциплина базируется на следующих, пройденных дисциплинах:

- «Проектирование микропроцессорных систем управления»;
- «История, методология и современные проблемы теории управления»;
- «Математическое моделирование объектов и систем управления»;
- «Компьютерные технологии управления в технических системах»

## 3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(е) единиц(ы) (144 часа).

## 3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

3.1.1. Очная форма обучения

| № п/п | Вид учебной работы | Количество часов | Семестры |
|---|---|---|---|
| | | | 2 семестр |
| **1** | **Аудиторные занятия** | | 54 |
| | В том числе: | | |
| 1.1 | Лекции | | 18 |
| 1.2 | Семинарские/практические занятия | | 18 |
| 1.3 | Лабораторные занятия | | 18 |
| **2** | **Самостоятельная работа** | | 90 |
| | В том числе: | | |
| 2.1 | Подготовка и защита лабораторных работ | | 54 |
| 2.2 | Самостоятельное изучение | | 36 |
| | | | |
| **3** | **Промежуточная аттестация** | | |
| | Зачет/диф.зачет/экзамен | | Экзамен |
| | **Итого** | | 144 |

## 3.2 Тематический план изучения дисциплины

(по формам обучения)

3.2.1. Очная форма обучения

| № п/п | Разделы/темы дисциплины | Трудоемкость, час | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Всего | Аудиторная работа | | | | Самостоятельная работа |
| | | | Лекции | Семинарские/ практические занятия | Лабораторные занятия | Практическая подготовка | |
| 1 | Лекция 1. Введение в теорию нечетких множеств | 6 | 2 | | | | 4 |
| 2 | Лекция 2. Основные понятия и определения теории нечетких множеств | 6 | 2 | | | | 4 |
| 3 | Лекция 3. Операции над нечеткими множествами | 6 | | | | | 4 |
| 4 | Лекция 4. Функция принадлежности нечеткого множества | 6 | 2 | | | | 4 |
| 5 | Лекция 5. Расстояние между нечеткими множествами | 6 | 2 | | | | 4 |
| 6 | Лекция 6. Нечеткие отношения | 6 | 2 | | | | 4 |
| 7 | Лекция 7. Нечеткая и лингвистическая переменная | 6 | 2 | | | | 4 |
| 8 | Лекция 8. Нечеткая истинность | 6 | 2 | | | | 4 |
| 9 | Лекция 9. Нечеткие высказывания и системы нечеткого вывода | 6 | 2 | | | | 4 |
| 10 | Лабораторная работа №1 «Программный модуль | 10 | | 2 | 2 | | 6 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | FuzzyLogicToolbox в программной среде MatLab, его графический интерфейс, возможности и характеристики» | | | | | | |
| 11 | Лабораторная работа №2 «Построение функций принадлежности с использованием модуля FuzzyLogicToolbox в программной среде MatLab» | 10 | | 2 | 2 | | 6 |
| 12 | Лабораторная работа №3 «Моделирование нечеткой системы средствами FuzzyLogicToolbox» | 10 | | 2 | 2 | | 6 |
| 13 | Лабораторная работа №4 «Программирование нечеткой системы в среде MatLab с использованием встроенных функций» | 16 | | 4 | 4 | | 8 |
| 14 | Лабораторная работа №5 «Изучение нечеткой кластеризации средствами инструментария нечеткой логики FuzzyLogicToolbox» | 16 | | 4 | 4 | | 8 |
| 15 | Лабораторная работа №6 «Создание нечеткой СУ в программной среде MatLab» | 16 | | 4 | 4 | | 8 |
| | **Итого** | **144** | **18** | **18** | **18** | | **90** |

### 3.3 Содержание дисциплины

Введение в теорию нечетких множеств

Предмет дисциплины и ее задачи. Структура, содержание дисциплины, ее связь с другими дисциплинами учебного плана. Понятия неопределенности, нечеткости. История развития научного направления.

Основные понятия и определения теории нечетких множеств

Понятия четкого и нечеткого множества (НМ). Основные характеристики НМ. Нормальные и субнормальные множества, процедура нормализации. Теорема о декомпозиции. Формы представления НМ. Понятие функции принадлежности НМ.

Операции над нечеткими множествами

Обобщение операций. Основные операции над нечеткими множествами. Наглядное представление операций. Алгебраические операции над нечеткими множествами. Свойства операций. Доказательство равенств и неравенств в теории нечетких множеств. Выпуклая комбинация НМ. Декартово произведение НМ. Оператор увеличения нечеткости. Обобщенные операции объединения и пересечения нечетких множеств. Понятие нормы и конормы. Функции N аргументов. Параметризованные функции.

Функция принадлежности нечеткого множества

Стандартные функции принадлежности (ФП). Методы построения ФП. Аналитическое, графическое и табличное представление ФП. Типы ФП: треугольные, трапециевидные, колоколообразные, сигмоидные, Гаусса, полиномиальные.

Расстояние между нечеткими множествами

Индексы нечеткости. Определение расстояния для нечеткого множества. Виды расстояний. Аксиомы расстояния. Четкое множество, ближайшее к нечеткому. Подходы к определению нечеткости.

Нечеткие отношения

Определение нечеткого отношения. Свойства нечетких отношений. Операции над нечеткими отношениями. Проекции нечетких отношений. Композиция двух нечетких отношений. Условные нечеткие подмножества. Принцип обобщения. Специальные типы нечетких отношений.

Нечеткая и лингвистическая переменная

Принятая терминология: понятие нечеткой переменной, нечеткой лингвистической переменной. Нечеткие числа. Операции над нечеткими числами. Лингвистические неопределенности и вычисление значений лингвистических переменных.

Нечеткая истинность

Логические связки в нечеткой логике. Таблицы истинности. Нечеткая истинность. Нечеткие логические операции. Составное правило вывода: правила нечетких продукций, виды правил.

Нечеткие высказывания и системы нечеткого вывода

Нечеткие лингвистические высказывания. Основные этапы нечеткого вывода. Нечеткие алгоритмы. Нечетко-логические модели.

### 3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

Лабораторная работа №1 «Программный модуль FuzzyLogicToolbox в программной среде MatLab, его графический интерфейс, возможности и характеристики»
Лабораторная работа №2 «Построение функций принадлежности с использованием модуля FuzzyLogicToolbox в программной среде MatLab»
Лабораторная работа №3 «Моделирование нечеткой системы средствами FuzzyLogicToolbox»
Лабораторная работа №4 «Программирование нечеткой системы в среде MatLab с использованием встроенных функций»
Лабораторная работа №5 «Изучение нечеткой кластеризации средствами инструментария нечеткой логики FuzzyLogicToolbox»
Лабораторная работа №6 «Создание нечеткой СУ в программной среде MatLab»

### 3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Курсовые работы/проекты отсутствуют

## 4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

### 4.1 Нормативные документы и ГОСТы

Не предусмотрено

### 4.2 Основная литература

1. Яхъяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети. 2-е изд., испр. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008. – 316 с. – (Сер. «Основы информационных технологий»). – ISBN 978-5-947748-18-5.

2. Лисьев Г.А. Технологии поддержки принятия решений: учеб. Пособие – 2-е изд. – М.: Флинна, 2011 – электронная версия https://e.lanbook.com/reader/book/20204/#2

### 4.3 Дополнительная литература

1. Лубенцова Е. В. Системы управления с динамическим выбором структуры, нечеткой логикой и нейросетевыми моделями: монография, СКФУ - 2014 г. http://www.knigafund.ru/books/200292

2. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. – 304 с. – (Серия «Информатика в техническом университете»).

### 4.4 Электронные образовательные ресурсы

1. https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=3614

Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

### 4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

«MatLab», модуль FuzzyLogicToolbox.

### 4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. https://www.youtube.com/user/Zefar91
2. https://www.youtube.com/user/tolik7772

## 5. Материально-техническое обеспечение

Для проведения лекционных занятий необходимы аудитории, оснащенные мультимедийными проекторами и экранами. Для проведения лабораторных работ требуется компьютерный класс (АВ2507, АВ2614, АВ2618, АВ2619)

## 6. Методические рекомендации

Методика преподавания дисциплины и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения аудиторных и внеаудиторных занятий:

– аудиторные занятия: лекции, лабораторные работы, тестирование;

– внеаудиторные занятия: самостоятельное изучение отдельных вопросов, подготовка к лабораторным работам.

### 6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

На первом занятии по дисциплине необходимо ознакомить студентов с порядком ее изучения (темами курса, формами занятий, текущего и промежуточного контроля), раскрыть место и роль дисциплины в системе наук, ее практическое значение, довести до студентов требования к форме отчетности и применения видов контроля. Выдаются задания для подготовки к семинарским занятиям.

При подготовке **к семинарскому занятию** по перечню объявленных тем преподавателю необходимо уточнить план их проведения, продумать формулировки и содержание учебных вопросов, выносимых на обсуждение, ознакомиться с перечнем вопросов по теме семинара.

В ходе семинара во вступительном слове раскрыть практическую значимость темы семинарского занятия, определить порядок его проведения, время на обсуждение каждого

учебного вопроса. Применяя фронтальный опрос дать возможность выступить всем студентам, присутствующим на занятии.

Целесообразно в ходе защиты лабораторных работ задавать выступающим и аудитории дополнительные и уточняющие вопросы с целью выяснения их позиций по существу обсуждаемых проблем.

Следует предоставить возможность выступления с места в виде кратких сообщений по подготовленному заранее вопросу.

В заключительной части семинарского занятия следует подвести его итоги: дать оценку выступлений каждого студента и учебной группы в целом. Раскрыть положительные стороны и недостатки проведенного семинарского занятия. Ответить на вопросы студентов. Выдать задания для самостоятельной работы по подготовке к следующему занятию.

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS). Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

## 6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа является одним из видов учебных занятий. Цель самостоятельной работы – практическое усвоение студентами вопросов, рассматриваемых в процессе изучения дисциплины.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Задачи самостоятельной работы студента:

- развитие навыков самостоятельной учебной работы;
- освоение содержания дисциплины;
- углубление содержания и осознание основных понятий дисциплины;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий для эффективной подготовки к зачету.

Виды внеаудиторной самостоятельной работы:

- самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины;
- подготовка к лекционным занятиям;
- подготовка к семинарам и практическим занятиям;
- оформление отчетов по выполненным лабораторным работам и подготовка к их защите.

Для выполнения любого вида самостоятельной работы необходимо пройти следующие этапы:

- определение цели самостоятельной работы;
- конкретизация познавательной задачи;
- самооценка готовности к самостоятельной работе;
- выбор адекватного способа действия, ведущего к решению задачи;
- планирование работы (самостоятельной или с помощью преподавателя) над заданием;
- осуществление в процессе выполнения самостоятельной работы самоконтроля (промежуточного и конечного) результатов работы и корректировка выполнения работы;
- рефлексия;
- презентация работы или защита лабораторной работы.

# 7. Фонд оценочных средств

В процессе обучения в течение семестра используются оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций. Применяются следующие оценочные средства: тест, защита лабораторных работ, экзамен.

Обучение по дисциплине «Автоматизация экспериментальных исследований и испытаний объектов и систем управления» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

| **Код и наименование компетенций** | **Индикаторы достижения компетенции** |
|---|---|
| ОПК-8. Способен выбирать методы и разрабатывать системы управления сложными техническими объектами и технологическими процессами | ИОПК-8.1. Знает основные понятия, направления развития, принципы создания систем ИИ, их разновидностей и классификации; принципы построения и способы применения ЭС, формализованных систем, семиотических систем, ИНС, нечетких систем для управления техническими объектами; существующие методы и алгоритмы ИИ, применяемые в технических системах;<br>ИОПК-8.2. Умеет выбирать методы и разрабатывать алгоритмы решения задач управления с применением ИИ в технических системах; производить расчеты и проектирование отдельных блоков и устройств интеллектуальных СУ для решения задач управления в технических системах;<br>ИОПК-8.3. Владеет навыками по практическому применению методов и алгоритмов ИИ для решения задач управления в технических системах; |

## 7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

| № ОС | Наименование оценочного средства | Краткая характеристика оценочного средства | Представление оценочного средства в ФОС |
|---|---|---|---|
| 1 | Тест (Т) | Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося. | Фонд тестовых заданий |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 | ЗЛР | Средство проверки умений и навыков применять полученные знания для решения практических задач с помощью инструментальных средств. | Задания для защиты лабораторных работ |

## 7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

**Форма промежуточной аттестации: экзамен.**

**Обязательными условиями подготовки студента к промежуточной аттестации** является выполнение и защита студентом лабораторных работ, предусмотренных рабочей программой и прохождение всех промежуточных тестов не ниже, чем на 70% правильных ответов. Промежуточные тестирования могут проводится как в аудитории Университета под контролем преподавателя, так и дистанционном формате на усмотрение преподавателя.

| Шкала оценивания | Описание |
|---|---|
| Отлично | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности, не испытывает затруднений при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации. |
| Хорошо | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует частичное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации. |
| Удовлетворительно | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации. |
| Неудовлетворительно | Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент не может оперировать знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации. |

## 7.3 Оценочные средства

### 7.3.1. Текущий контроль

Текущий контроль включает прохождение промежуточных тестирований по разделам дисциплины и защиту лабораторных работ. Промежуточные тестирования размещены в соответствующем курсе системы дистанционного обучения Университета. Примеры тестов представлены ниже. Отчеты по лабораторным работам размещаются студентами в соответствующем курсе системы дистанционного обучения Университета. Для подготовки к тестированию и защите лабораторных работ в разделе приведён перечень контрольных вопросов.

Результаты текущего контроля могут быть использованы при промежуточной аттестации.

**Примеры тестовых вопросов**

| № п/п | Текст вопроса | Варианты ответов |
|---|---|---|
| 1 | Функция принадлежности нечеткого множества отличается от характеристической функции обычного множества тем, что принимает … | + любые значения из диапазона [0..1] |
| | | - значения, равные только 0 или 0.5 или 1 |
| | | - любые значения из диапазона [0..10] |
| | | - значения, равные только 0 или 1 |
| | | |
| 2 | Множество, не содержащее элементов, называется: | - универсальным |
| | | - подмножеством |
| | | - нечетким |
| | | + пустым |
| | | |
| 3 | Для представления нечетких множеств НЕ используются: | - таблицы |
| | | - графики функций принадлежности |
| | | + диаграммы Венна |
| | | - гистограммы |
| 4 | Для представления нечетких множеств используются: | + таблицы |
| | | - графики характеристических функций |
| | | + графики функций принадлежности |
| | | + гистограммы |
| | | - диаграммы Венна |
| 5 | Нечеткое множество F называется ..., если оно не содержит элементов | + пустым |
| | | - нормальным |
| | | - субнормальным |
| | | - элементарным |
| | | |
| | | |
| | | |

**7.3.2 Вопросы для промежуточной аттестации**

| |
|---|
| Цели и задачи дисциплины, ее связь с другими дисциплинами учебного процесса |
| Понятие неопределенности и нечеткости. Связь теории нечетких множеств, нечеткой логики и теории нечеткого управления |
| История развития научного направления «Нечеткие множества и нечеткая логика» |

| |
|---|
| Понятие обычного и нечеткого множества. Определение характеристической функции обычного множества и функции принадлежности НМ, сходство и различие. Примеры четких и нечетких множеств. Формы представления НМ |
| Основные характеристики НМ: определение носителя, точки перехода, ядра, высоты и сечения НМ. Привести графический пример, отметить характеристики. Пустое НМ |
| Высота НМ. Свойство унимодальности и нормальности. Нормализация НМ. Примеры. |
| Сечение и уровень НМ. Разложение НМ по уровням, теорема о декомпозиции |
| Выпуклость НМ. Равенство и вложенность НМ. Принцип доминирования. Примеры |
| Основные операции над НМ: дополнение, объединение, пересечение. Примеры аналитического выполнения и графического изображения этих операций. Приоритет выполнения операций. Свойства операций объединения и пересечения. |
| Операции разности и дизъюнктивной суммы НМ, примеры аналитического выполнения этих операций. Операции концентрирования и растяжения НМ, привести графический пример. |
| Алгебраические операции над НМ. Алгебраическое произведение и алгебраическая сумма, их свойства. Доказательство свойств алгебраических операций над НМ (на произвольном примере). |
| Алгебраические операции над НМ, их отличие от других операций над НМ. Операция возведения в степень и ее частные случаи: концентрирование и растяжение НМ. |
| Операция умножения на число. Выпуклая комбинация НМ. Оператор увеличения нечеткости. Декартово произведение НМ. |
| Операция умножения на число. Выпуклая комбинация НМ. Оператор увеличения нечеткости. Декартово произведение НМ. |
| Кусочно-линейные функции принадлежности НМ, особенности их применения. |
| S- и Z-образные функции принадлежности НМ. |
| П-образные функции принадлежности НМ. |
| Треугольные нормы и конормы. Примеры. Специальные уравнения для пары «норма-конорма». Пример использования специального уравнения. |
| Свойства треугольных норм и конорм для N аргументов. Параметризованные нормы и конормы. |
| Понятие расстояния между множествами. Аксиомы расстояния. Абсолютное и относительное расстояние Хемминга для НМ. |
| Абсолютное и относительное евклидово расстояние. Определение евклидовых норм. Частный случай евклидовых норм. |
| Обычное множество, ближайшее к нечеткому. Свойства, связанные с ближайшим обычным множеством. Линейный и квадратичный индексы нечеткости. |
| Аксиоматический подход к определению нечеткости НМ. Оценка нечеткости через энтропию. Мера нечеткости Р.Ягера. |
| Понятие n-арного и бинарного нечеткого отношения. Нечеткое отношение «x приблизительно равен y», «x много больше y». Изображение нечетких отношений типа XRX и XRY с помощью нечетких графов. |
| Носитель нечеткого отношения. Вложенные (строго и нестрого) нечеткие отношения. Сечение нечеткого отношения. Теорема о декомпозиции. |
| Обратное отношение. Обычное отношение, ближайшее к нечеткому. Свойства дистрибутивности нечетких отношений. |
| Проекции нечетких отношений. Нормальные и субнормальные нечеткие отношения. Цилиндрические продолжения проекций нечетких отношений. Свойство сепарабельности. |
| Максиминная композиция нечетких отношений и ее свойства. Минимаксная и максимультипликативная композиция нечетких отношений. Обобщение максиминной композиции. |

| |
|---|
| Свойства рефлексивности и антирефлексивности нечетких отношений. Свойства симметричности и антисимметричности нечетких отношений. Совершенная антисимметрия. Примеры |
| Транзитивность нечетких отношений. Транзитивное замыкание. Теорема о транзитивном замыкании. |
| Специальные типы нечетких отношений. Нечеткие отношения предпорядка и порядка. Теорема 2 и следствие. |
| Нечеткие отношения подобия и различия. Нечеткие отношения сходства и несходства. |
| Понятие нечеткого отображения, отличие от обычного отображения. НМ, индуцированное отображением |
| Условные нечеткие множества. НМ, последовательно обусловливающие друг друга. |
| Понятие нечеткой и лингвистической переменной. Примеры лингвистической переменной. |
| Нечеткие числа и их свойства. |
| Нечеткие числа (L-R)-типа. Треугольные и трапециевидные нечеткие числа, их функции принадлежности. |
| Унарные операции над нечеткими числами через принцип обобщения: противоположное нечеткое число. |
| Унарные операции над нечеткими числами через принцип обобщения: обратное нечеткое число. |
| Сложение нечетких чисел с использованием принципа обобщения. |
| Операции над нечеткими числами с использованием сегментного принципа. |
| Терм-множество лингвистической переменной. Понятие квантификатора. Применение квантификаторов для создания новых термов и расширения базового терм-множества. |
| Понятие и формальное представление составного терма. Вычисление значения составного терма. |
| Понятие нечеткой истинности. Многозначная логика. Нечеткая логика как обобщение бинарной логики. |
| Элементарные и составные нечеткие высказывания, примеры. Отображение истинности нечетких высказываний. |
| Нечеткие логические операции: отрицание, конъюнкция, дизъюнкция, эквивалентность, классическая нечеткая импликация. |
| Нечеткие и приближенные рассуждения. Композиционное правило вывода. |
| Нечеткие лингвистические высказывания. Правила преобразования нечетких высказываний. Правила нечетких продукций. |
| Механизм нечеткого логического вывода. |
| Нечеткая база знаний. Правила полноты и непротиворечивости. |
| Блок решений в системе нечеткого логического вывода (с примерами). |
| Процессы фаззификации и дефаззификации. Методы проведения дефаззификации. |
| Алгоритм нечеткого вывода Мамдани. Графический пример. |
| Алгоритм нечеткого вывода Сугено. Графический пример. |