

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой вычислительной математики
и прикладных информационных технологий (ВМиПИТ)



М. Леденева

21.03.2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.05 Нечеткие системы управления**

1. Код и наименование направления подготовки:

15.03.06 Мехатроника и робототехника

2. Профиль подготовки: Интеллектуальные системы управления в мехатронике и робототехнике

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра вычислительной математики и прикладных информационных технологий (ВМиПИТ)

6. Составитель программы: Леденева Татьяна Михайловна, д.т.н., профессор кафедры ВМ и ПИТ факультета ПММ

7. Рекомендована: НМС факультета ПММ 17.03.2025г., протокол №6.

8. Учебный год: 2028/2029

Семестр: 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель учебной дисциплины: ознакомить обучающихся с подходами к нечеткому моделированию и проектированию систем управления, позволяющих решать задачи управления в ситуациях, когда традиционные методы неэффективны или неприменимы из-за отсутствия достаточно точного знания об объекте управления.

Задачи учебной дисциплины:

ознакомление с подходами к представлению и обработке нечеткой информации как основы для решения задач в условиях неопределенности;

изучение основных классов нечетких моделей и методов нечеткого моделирования, ориентированных на разработку нечетких систем управления;

изучение подходов к проектированию и анализу нечетких систем управления;

формирование навыков проведения исследовательской деятельности при выборе подходящих методов моделирования нечетких систем управления с использованием научных и научно-технических публикаций.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1.

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-3	Способен осуществлять выбор и создание программного обеспечения для системы управления робототехническими системами в машиностроении под руководством специалиста более высокой квалификации	ПК-3.1	Проводит анализ существующих методов математического и алгоритмического моделирования для разработки и сопряжения систем управления гибкими производственными процессами, робототехнических систем и осуществляет выбор оптимальных решений	<i>Знать:</i> терминологическую базу, основные классы нечетких моделей, этапы моделирования и проектирования нечетких систем управления. <i>Уметь:</i> составлять общий алгоритм для решения задач, ориентированных на обработку нечеткой информации при проектировании нечетких систем управления. <i>Владеть:</i> навыками анализа свойств нечетких систем управления.
ПК-5	Способен осуществлять проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований, выполненных под руководством специалиста более высокой квалификации	ПК-5.1	Накапливает и систематизирует знания в отношении передового отечественного и международного опыта в области мехатроники и робототехнических систем	<i>Знать:</i> современные технологии разработки нечетких систем управления и их компонентов. <i>Уметь:</i> составить обзор подходов к решению задач в рамках моделирования и проектирования нечетких систем управления. <i>Владеть:</i> информационными технологиями поиска необходимой информации и знаний в отношении передового опыта разработки нечетких систем управления.
		ПК-5.2	Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение результатов экспериментов и исследований в области мехатроники и робототехнических систем	<i>Знать:</i> основные принципы научно-исследовательской деятельности и планирования эксперимента. <i>Уметь:</i> организовать эксперимент, получить результаты и составить выводы при изучении исследуемых параметров. <i>Владеть:</i> навыками анализа полученных результатов и представления выводов.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. (в соответствии с учебным планом) – 2/72.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

13. Трудоемкость по видам учебной работы:

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	Семестр 7
Контактная работа		32	32
в том числе:	Лекции	16	16
	Лабораторные работы	16	16
Самостоятельная работа		40	40
Промежуточная аттестация		0	0

Итого	72	72
-------	----	----

13.1 Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Онлайн-курс, ЭУМК
1. Лекции			
1.1	Модели представления нечеткой информации	Нечеткие множества, нечеткие величины, нечеткие числа. Основные типы нечетких чисел. Операции над нечеткими числами. Сравнение нечетких чисел. Понятие нечеткой функции. Лингвистическая переменная, лингвистическая шкала и ее свойства.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6085
1.2	Основы нечеткого моделирования	Нечеткие системы: структура, база знаний, механизм вывода. Основные типы правил, свойства базы правил. Типы нечетких моделей (модели Мамдани, Такаги-Сугено, реляционные, нейронечеткие).	
1.3	Методы нечеткого моделирования	Моделирование на основе экспертных знаний о системе. Самонастраивающиеся и самоорганизующиеся нечеткие модели на основе обучающих данных. Настройка параметров нечеткой модели с помощью эвристических алгоритмов.	
1.4	Основы теории нечеткого управления	Статические и динамические нечеткие регуляторы. Формирование структуры и настройка параметров нечетких регуляторов. Разработка нечеткого регулятора на основе модели объекта управления. Адаптивное нечеткое управление.	
1.5	Устойчивость нечетких систем управления	Понятие устойчивости системы управления. Критерии устойчивости. Устойчивость нечетких систем управления с неизвестными моделями объектов. Применение теории гиперустойчивости для анализа устойчивости нечетких систем управления.	
2. Лабораторные занятия			
2.1	Модели представления нечеткой информации	Лабораторная работа №1. Основные типы нечетких чисел и операции над ними, сравнение.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6085
2.2	Основы нечеткого моделирования	Лабораторная работа №2. Представление и обработка лингвистической информации.	
		Лабораторная работа №3. Проектирование нечетких систем Мамдани и Такаги-Сугено.	
2.4	Основы теории нечеткого управления	Лабораторная работа №4. Проектирование нечеткого регулятора на основе экспертных знаний об объекте управления.	
		Лабораторная работа №5. Настройка параметров нечеткого регулятора.	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

№	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)			
		Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа	Всего
1	Модели представления нечеткой информации	2	4	4	10
2	Основы нечеткого моделирования	4	6	8	18
3	Методы нечеткого моделирования	2	-	8	10
4	Основы теории нечеткого управления	6	6	16	28
5	Устойчивость нечетких систем управления	2	-	4	6
Итого:		16	16	40	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Лекционные занятия реализуются в традиционной форме в соответствии с календарным планом-графиком чтения лекций. Лабораторные занятия направлены на практическое освоение лекционного материала, формирование навыков и умений для решения задач, относящихся к нечетким системам управления. При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения необходимо выполнять все указания преподавателей по работе на LMS-платформе, своевременно подключаться к online-занятиям, соблюдать рекомендации по организации самостоятельной работы.

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

а) основная литература

№ п/п	Источник
1	Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление: учебное пособие / А. Пегат ; перевод с английского А. Г. Подвесовского, Ю. В. Тюменцева. – 4-е изд. – Москва: Лаборатория знаний, 2020. – 801 с. – ISBN 978-5-00101-742-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/135549

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Борисов, В. В. Нечеткие модели и сети : учебное пособие / В. В. Борисов, В. В. Круглов, А. С. Федулов. – 2-е изд., стер. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2018. – 284 с. – ISBN 978-5-9912-0283-1. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/111022
3	Коньшева, Л.К. Основы теории нечетких множеств / Л.К. Коньшева, Д. М. Назаров. – Санкт Петербург: Питер, 2011. – 192 с.
4	Батыршин И.З. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / И.З. Батыршин, А.О. Недосекин, А.А. Стецко, В.Б. Тарасов, А.В. Язенин, Н.Г. Ярушкина. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 208 с.

5	Леденева Т.М. Основы нечеткого моделирования / Т.М. Леденева. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2022. – 129 с.
---	---

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
6	www.lib.vsu.ru – Зональная научная библиотека ВГУ
7	Лань : электронно-библиотечная система.: https://e.lanbook.com/book
8	Леденева, Т.М. Курс «Нечеткие системы управления» / Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». – Режим доступа: https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6085

16. Перечень учебно-методического обеспечения

№ п/п	Источник
9	Леденева, Т.М. Обработка нечеткой информации / Т.М. Леденева. – Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2006. – 233 с.

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

Дисциплина реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Для организации занятий рекомендован онлайн-курс «Нечеткие системы управления» <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6085>, размещенный на платформе Электронного университета ВГУ (LMS moodle), а также интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.

18. Материально-технического обеспечения дисциплины:

Учебная аудитория для проведения лекций специализированная мебель, компьютер (ноутбук), мультимедийное оборудование (проектор, экран, средства звуковоспроизведения).
ОС Windows 8 (10), интернет-браузер (Google Chrome, Mozilla Firefox), ПО Adobe Reader, пакет стандартных офисных приложений для работы с документами, таблицами (MS Office, Мой Офис, Libre Office).

Учебная аудитория для проведения лабораторных работ и организации самостоятельной работы: специализированная мебель, персональные компьютеры для индивидуальной работы с возможностью подключения к сети «Интернет», мультимедийное оборудование (проектор, экран, средства звуковоспроизведения).
ОС Windows 8 (10), интернет-браузер (Google Chrome, Mozilla Firefox), ПО Adobe Reader, пакет стандартных офисных приложений для работы с документами, таблицами (MS Office, Мой Офис, Libre Office), специализированное ПО по тематике дисциплины (допускается демоверсия или виртуальный аналог ПО).

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

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

№	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	Модели представления нечеткой информации	ПК-3	ПК-3.1	Тест
2	Основы нечеткого моделирования	ПК-3, ПК-5	ПК-3.1, ПК-5.1	
3	Методы нечеткого моделирования	ПК-3, ПК-5	ПК-3.1, ПК-5.1, ПК-5.2	Реферат
4	Основы теории нечеткого управления	ПК-3, ПК-5	ПК-3.1, ПК-5.1, ПК-5.2	
5	Устойчивость нечетких систем управления	ПК-3, ПК-5	ПК-3.1, ПК-5.1, ПК-5.2	
Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет				

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

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущая аттестация (2) включает тестирование на основе индивидуальных тестов, проводится в аудитории на лекции в отведенное время, согласованное с периодом проведения текущей аттестации. Время тестирования – 30 мин. Считается, что обучающийся успешно прошел тестирование, если на большинство вопросов были даны правильные ответы.

Пример теста

1. Данная схема правильных рассуждений

$$\frac{\begin{array}{l} \text{посылка} \\ \text{факт} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{если } p, \text{ то } q \\ p \end{array}}{\text{заключение} \quad q}$$

соответствует

- а) modus ponens;
- б) modus tollens.

2. Среди перечисленных продукционных правил укажите модель Такаги-Сугено

- а) R_i : *если* x *есть* A_i , *то* y *есть* B_i ;
- б) R_{ij} : *если* x *есть* A_i , *то* y *есть* B_j *со степенью* r_{ij} ;
- в) R_i : *если* x *есть* A_i , *то* $y = f_i(x)$.

3. Какое действие из перечисленных непосредственно предшествует формированию базы правил при проектировании нечеткой системы управления:

- а) выбор метода фазификации;
- б) выбор механизма нечеткого логического вывода;
- в) построение лингвистических шкал входной и/или выходной переменных;
- г) выбор метода дефазификации.

4. Пусть $U = \{1, 2, 3, 4, 5\}$, A – нечеткое подмножество *малая величина* $A = \{(1/1), (2/1), (3/0.8), (4/0.6), (5/0.4)\}$. Из приведенного списка выберите нечеткое множество, которое соответствует высказыванию *очень малая величина*.

а) $A_1 = \{(1/1), (2/1), (3/0.64), (4/0.36), (5/0.16)\}$;

б) $A_2 = \{(1/1), (2/0.9), (3/0.6), (4/0.4), (5/0.1)\}$;

в) $A_1 = \{(1/1), (2/0), (3/0), (4/0), (5/0)\}$.

5. Пусть задано нечеткое число *приблизительно 5* в форме нечеткого множества

$$A = \{(1/0.1), (2/0.2), (3/0.4), (4/0.8), (5/1), (6/0.9), (7/0.6), (8/0.1)\}.$$

Определите для него дефазифицированное значение методом центра тяжести.

6. Пусть нечеткие отношения R_1 и R_2 заданы матрицами:

R_1	y_1	y_2	y_3	y_4
x_1	0.3	0	0.7	0.3
x_2	0	1	0.2	0
R_2	z_1	z_2	z_3	
y_1	1	0	1	
y_2	0	0.5	0.4	
y_3	0.7	0.9	0.6	
y_4	0	0	0	

Определите элемент (x_2, z_2) в матрице композиции $R_1 \circ R_2 \subseteq X \times Z$.

Перечень заданий теста

1. Какую систему управления можно считать интеллектуальной (возможен множественный выбор):

- а) система, выполняющая функции, которые принято считать интеллектуальными;
- б) система, поведение которой напоминает разумное поведение человека;
- в) система, которая базируется на информационных технологиях обработки знаний о некоторой предметной области.

Ответ: а), в)

2. В чем заключается различие между обычным статическим регулятором (ОСР) и нечетким статическим регулятором (НСР):

- а) в случае НСР можно учитывать большее количество входных переменных;
- б) для построения ОСР требуется знание функции, которая описывает зависимость выходной переменной от входных, а в случае НСР этого не требуется;
- в) алгоритм работы НСР основан на базе знаний.

Ответ: б), в)

3. Знания – это

- а) особый вид информации;
- б) конкретные факты;
- в) метаданные.

Ответ: а)

4. Укажите модель представления знаний, которая используется в нечетких системах управления
- a) фреймы;
 - b) продукции;
 - c) семантические сети;
 - d) формально-логические модели.

Ответ: b)

5. Какие элементы входят в архитектуру нечеткой системы управления (возможен множественный выбор):
- a) интерфейс пользователя;
 - b) база знаний;
 - c) блок логического вывода;
 - d) подсистема объяснений;
 - e) интеллектуальный редактор базы знаний.

Ответ: b),c)

6. Конфликтное множество продукционных правил – это
- a) правила, имеющие одинаковые посылки и разные заключения
 - b) совокупность правил, успешно сопоставленных на основе их посылок со списком фактов
 - c) правила, имеющие разные посылки, но одинаковые заключения
7. Какой из методов логического вывода предполагает формирование рассуждений от фактов к заключениям?
- a) прямой
 - b) обратный
8. Какой регулятор из перечисленных является упрощенным вариантом ПИД-регулятора:
- a) ПД-регулятор;
 - b) П-регулятор;
 - c) ПИДД-регулятор?

Ответ: a)

9. На качество работы ПИД-регулятора наибольшее влияние оказывает:
- a) корректное определение логических операций;
 - b) тип функции принадлежности термов выходной переменной;
 - c) тип функции принадлежности входных переменных;
 - d) процедура дефизификации.

Ответ: a),d)

10. ПИД-регулятор целесообразно использовать для управления

- a) линейными объектами;
- b) нелинейными объектами;
- c) как линейными, так и нелинейными объектами.

Ответ: b)

Вопросы с кратким текстовым ответом

Критерий оценивания	Шкала оценок
Должен быть сформулирован ответ или аналогичные по сути ответы с альтернативными терминами и определениями	2 балла
Неверный ответ	0 баллов

2 – верный ответ

0 – неверный ответ

1) Можно ли считать базу знаний аналогом базы данных?

Ответ: Нет, поскольку знания – это особый тип информации, отличающийся своим набором свойств. В нечетких системах управления база данных входит в базу знаний.

2) Какие типы продукционных правил используются в нечетких системах управления?

Ответ: При формировании базы правил используются лингвистическая модель и модель Такаги-Сугено.

3) Что подразумевается под лингвистической аппроксимацией?

Ответ: Значениями входной и/или выходной переменных являются термы лингвистических шкал, а база правил описывает зависимость выходной переменной от входных в виде продукционных правил.

4) Перечислите особенности прямого и обратного логического вывода.

Ответ: Прямой логический вывод предназначен для определения значения выходной переменной, а обратный – для определения отрицания значения входной переменной. Основой в обоих случаях является импликация, но для прямого вывода задается значение входной переменной, а для обратного вывода – отрицание значения выходной переменной.

5) Перечислите современные технологии/библиотеки, используемые для разработки нечетких систем управления.

Ответ: MATLAB, FuzzyTech, Clips.

6) Можно ли заменить математическую модель объекта управления опытом эксперта (управление подъемным краном, диспетчерское управление производственным процессом, пилотирование самолета и т.п.)?

Ответ: Да, можно. Математическую модель объекта управления заменяет база знаний, в которой знания представляются продукционными правилами, полученными от эксперта.

7) В чем заключается задача идентификации при разработке нечеткого регулятора на основе модели объекта управления?

Ответ: Задача идентификации заключается в определении базы правил и параметров нечеткого логического вывода.

8) Какие подходы применимы для разработки базы знаний нечеткого регулятора при отсутствии модели нелинейного объекта?

Ответ: Для разработки базы знаний применимы следующие подходы: метод сеточного разбиения входного пространства переменных; нейросетевые технологии; использование алгоритмов кластеризации; использование эвристических алгоритмов.

9) Приведите примеры подходов, используемых для определения устойчивости нечетких систем управления.

Ответ: Известны следующие подходы для определения устойчивости нечетких систем управления: критерий устойчивости Попова, прямой метод Ляпунова, метод описывающей функции, критерий конусности, критерий вход-выходной устойчивости.

10) В чем заключается свойство гиперустойчивости и как оно применяется в нечетких системах управления?

Ответ: Гиперустойчивость – это свойство системы, состоящее в том, что вектор состояния системы удовлетворяет условию ограниченности, если значения входных переменных принадлежат некоторому заданному подмножеству всех возможных значений этих переменных.

ПК-3 Способен осуществить выполнение экспериментов и оформить результаты исследований и разработок

1. Укажите верхнюю и нижнюю границы (через запятую без пробела) α -среза нечеткого числа $A = (a, l, r) = (4, 2, 4)$ при $\alpha = 0.3$.

Ответ: 2.6,6.1

3. Пусть значением входной переменной является нечеткое множество A , заданное на универсальном множестве $U = \{a, b, c, d, e, f, g\}$ в виде

$$A = \{(a / 0.5), (b / 0.2), (c / 0.9), (d / 0.1), (e / 0.8), (f / 1), (g / 0.7)\}.$$

Выберите подходящий тип соотношения между обычным множеством, ближайшем к данному нечеткому, и α -срезом при $\alpha = 0.7$.

а) $\underline{A} \cap A_{0.7} = \emptyset$;

б) $\underline{A} = A_{0.7}$;

в) $\underline{A} \subset A_{0.7}$;

г) $A_{0.7} \subset \underline{A}$.

Ответ: г)

4. Пусть задано нечеткое число *приблизительно 5* в форме нечеткого множества

$$A = \{(1/0.1), (2/0.2), (3/0.4), (4/0.8), (5/1), (6/0.9), (7/0.6), (8/0.1)\}.$$

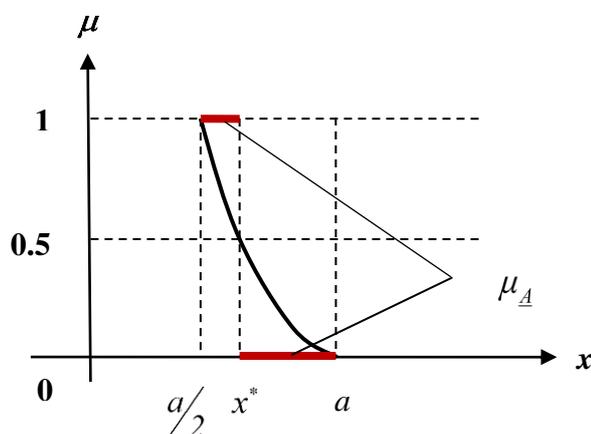
Определите для него дефазифицированное значение методом центра тяжести.

Ответ: 4.95

5. Пусть нечеткое множество задано функцией принадлежности

$$\mu_A(x) = \frac{4(x-a)^2}{a^2} \quad \left(\frac{a}{2} \leq x \leq a \right).$$

Характеристическая функция обычного множества \underline{A} , ближайшего к данному нечеткому, представлена на рисунке.



Укажите подходящее значение для x^* .

а) $a - \frac{a}{2\sqrt{2}}$;

б) $a + \frac{a}{2\sqrt{2}}$;

в) $\frac{a}{2\sqrt{2}}$.

Ответ: б)

7. Пусть $U = \{1, 2, 3, 4, 5\}$, A – нечеткое подмножество *малая величина* $A = \{(1/1), (2/1), (3/0.8), (4/0.6), (5/0.4)\}$. Из приведенного списка выберите нечеткое множество, которое соответствует высказыванию *очень малая величина*.

а) $A_1 = \{(1/1), (2/1), (3/0.64), (4/0.36), (5/0.16)\}$;

б) $A_2 = \{(1/1), (2/0.9), (3/0.6), (4/0.4), (5/0.1)\}$;

в) $A_1 = \{(1/1), (2/0), (3/0), (4/0), (5/0)\}$.

Ответ: а)

9. Установите соответствие между модификаторами

а) *очень*, б) *более или менее*, в) *достаточно*, г) *почти*

и значениями степени

1) 1.25, 2) 0.5, 3) 0.75, 4) 2,

в которую возводится функция принадлежности исходного термина.

Ответ: 1-4, б-2, в-1, г-3.

Вопросы с развернутым ответом

10. Исследуйте, к какому типу генераторов относится композиция двух убывающих генераторов $\varphi_{\downarrow}(x) = \frac{-2(x-1)}{-x+3}$ и $\psi_{\downarrow}(x) = \frac{-4(x-1)}{-3x+4}$.

Решение. Рассмотрим определения.

Строго возрастающая непрерывная функция $\varphi_{\uparrow}: [0,1] \rightarrow [0,\infty)$, такая что $\varphi_{\uparrow}(0) = 0$, называется *возрастающим генератором*. Строго убывающая непрерывная функция $\varphi_{\downarrow}: [0,1] \rightarrow [0,\infty)$, такая что $\varphi_{\downarrow}(1) = 0$, называется *убывающим генератором*.

Найдем композицию заданных генераторов, подставляя ψ_{\downarrow} в φ_{\downarrow} . Получим

$g(x) = (\varphi_{\downarrow} \circ \psi_{\downarrow})(x) = \frac{2x}{-5x+8}$. Так как $g(0) = 0$, то данная функция может

быть только возрастающим генератором. Проверим, является ли функция g

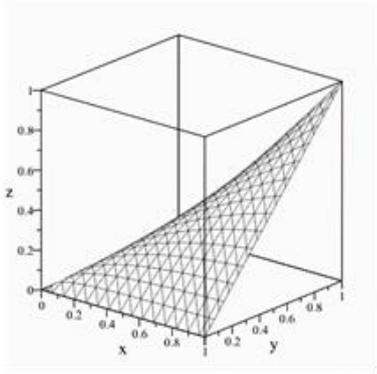
возрастающей. Найдем $g'(x) = \left(\frac{2x}{-5x+8} \right)' = \frac{16}{(-5x+8)^2} > 0$, поэтому g является

возрастающим генератором.

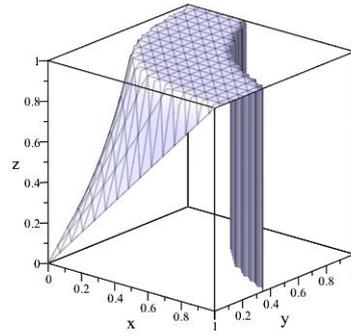
Ответ: Так как композиция является возрастающей функцией, и в 0 принимает значение 0, то она является возрастающим генератором.

Критерий оценивания	Шкала оценок
Обучающийся построил композицию и полностью ее исследовал, не допустив ошибок.	5 балла
Обучающийся построил композицию, но не провел ее исследование.	2 балла
Обучающийся даже не построил композицию.	0 баллов

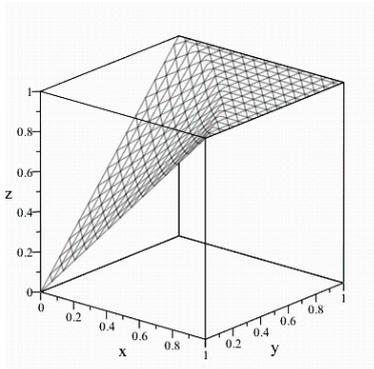
11. На рисунке представлены графики нечетких операций – треугольных норм и конорм. Укажите, какие операции моделируют объединение нечетких множеств (или задают дизъюнкцию) и обоснуйте свой ответ.



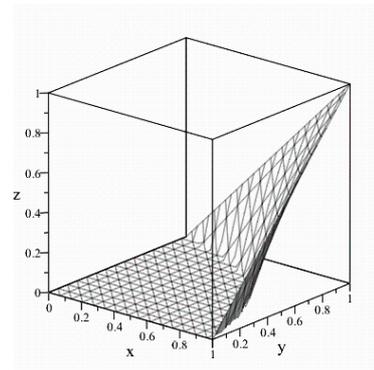
а) $F_1(x, y)$



б) $F_2(x, y)$



в) $F_3(x, y)$



г) $F_4(x, y)$

Рисунок – Графики нечетких операций

Решение. Нечеткие операции являются обобщениями обычных операций над множествами, и в точках $(0,0)$, $(0,1)$, $(1,0)$ и $(1,1)$ должны выполняться свойства операций над обычными множествами. Заметим, что $F_1(0,0) = F_1(0,1) = F_1(1,0) = 0$ и $F_1(1,1) = 1$, поэтому F_1 – конъюнкция. Аналогичные рассуждения имеют место для функции F_4 . Для F_3 выполняются свойства $F_3(0,0) = F_3(0,1) = F_3(1,0) = 1$ и $F_3(1,1) = 0$, поэтому F_3 – дизъюнкция. Анализируя функцию F_2 , видим, что в точке $(1,1)$ она не определена, поэтому F_2 не является ни конъюнкцией, ни дизъюнкцией.

Ответ: F_3 – дизъюнкция, так как $F_3(0,0) = F_3(0,1) = F_3(1,0) = 1$ и $F_3(1,1) = 0$.

Критерий оценивания	Шкала оценок
Обучающийся проанализировал представленные графики и сделал правильные выводы.	5 балла
Обучающийся смог проанализировать только часть графиков.	2 балла
Обучающийся в своих выводах сделал грубые ошибки.	0 баллов

11. Пусть нечеткие отношения R_1 и R_2 заданы матрицами:

R_1	y_1	y_2	y_3
-------	-------	-------	-------

R_2	z_1	z_2	z_3
-------	-------	-------	-------

x_1	0.3	0	0.7
x_2	0	1	0.2

y_1	1	0	1
y_2	0	0.5	0.4
y_3	0.7	0.9	0.6
y_4	0	0	0

Определите возможные композиции этих отношений.

Решение. Пусть $X = \{x_1, x_2\}$, $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$, $Z = \{z_1, z_2, z_3\}$. В соответствии с определением композиции существует $R_1 \circ R_2 \subseteq X \times Z$, но композиция $R_2 \circ R_1$ не существует. Найдем максиминную композицию \circ

$$\begin{pmatrix} 0.3 & 0 & 0.7 & 0.3 \\ 0 & 1 & 0.2 & 0 \end{pmatrix} \circ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0.5 & 0.4 \\ 0.7 & 0.9 & 0.6 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.7 & 0.6 \\ 0.2 & 0.5 & 0.4 \end{pmatrix}.$$

Ответ: Композиция $R_2 \circ R_1$ не существует в силу определения исходных множеств. $R_1 \circ R_2 = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.7 & 0.6 \\ 0.2 & 0.5 & 0.4 \end{pmatrix}$.

Критерий оценивания	Шкала оценок
Обучающийся построил композицию и сделал вывод о том, что другая композиция не существует.	5 балла
Обучающийся построил композицию, но не упомянул, что другая композиция не существует.	2 балла
Обучающийся не построил композицию.	0 баллов

12. Рассмотрим систему управления крановой тележкой портального крана при транспортировке контейнера. Случается так, что контейнер может раскачиваться, причем угловые перемещения θ могут быть весьма велики. Эту раскачку следует остановить до того момента, когда контейнер будет доставлен к месту назначения, в противном случае он может повредить соседние контейнеры. Оператор портального крана управляет скоростью перемещения крановой тележки посредством рычага, который может находиться в любом положении, которые находятся между двумя крайними положениями данного рычага. Существует несколько режимов управления перемещением контейнеров: 1) можно перемещать тележку на достаточно малой скорости, при которой раскачка груза не возникает; 2) перемещение контейнера на

большой скорости, затем ожидание, необходимое для затухания колебаний и медленное опускание груза. Если расстояние d между тележкой и местом назначения велико, то на раскачку контейнера можно не обращать внимания, и скорость перемещения может быть большой. По мере сокращения этого расстояния необходимо гасить раскачку груза. В результате угловые перемещения θ контейнера вблизи места назначения должны полностью затухать. Тогда контейнер можно быстро опустить вниз. В модели можно учитывать интенсивность и направление ветра, а также вес контейнера.

Пусть d – расстояние, θ – угловое смещение, P – мощность, развиваемая электромотором (управление этой мощностью осуществляется рычагом управления).

Задание: а) определите входные и выходную переменные; б) постройте лингвистические шкалы переменных; в) предложите вариант базы знаний для управления крановой тележкой порталного крана; г) предложите пакет для разработки программного обеспечения системы управления.

Решение:

а) Входными переменными являются: d – расстояние, θ – угловое смещение; выходная переменная P – мощность, развиваемая электромотором.

б) Построим лингвистические шкалы переменных

Переменная	Лингвистическая шкала
d	большое (L), малое (S), нулевое (Z)
θ	Положительное большое (PL), положительное малое (PS), нулевое (Z), отрицательное малое (NS), отрицательное большое (NL)
P	Отрицательное большое (NL), отрицательное среднее (NM), положительное среднее (PM), положительное большое (PL)

в) Построим базу продукционных правил:

- [1] если (d =большое), то (P =положительное большое);
- [2] если (d =малое) и (θ =отрицательное большое), то (P =отрицательное большое);
- [3] если (d =малое) и (θ =отрицательное малое или нулевое или положительное малое), то (P =положительное среднее);
- [4] если (d =малое) и (θ =положительное большое), то (P =положительное большое);
- [5] если (d =нулевое) и (θ =положительное большое или малое), то (P =отрицательное среднее);
- [6] если (d =нулевое) и (θ =нулевое), то (P =нулевое);
- [7] если (d =нулевое) и (θ =отрицательное малое), то (P =положительное среднее);
- [8] если (d =нулевое) и (θ =отрицательное большое), то (P =положительное большое).

г) для проектирования нечеткой системы управления можно использовать MATLAB.

Критерий оценивания	Шкала оценок
Обучающийся привел решение задачи, которое в основном соответствует приведенному решению.	5 балла
Обучающийся не смог построить базу правил.	2 балла
Обучающийся не привел решения для большинства пунктов задания.	0 баллов

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в форме **зачета** и учитывает следующие составляющие:

результаты текущих аттестаций;

результаты выполнения лабораторных работ;

собеседование обучающегося с преподавателем по теме реферата, который должен быть представлен в печатном вид.

Результаты текущего контроля успеваемости учитываются при проведении промежуточной аттестации следующим образом: если тестирование не было успешным, то аналогичный тест предлагается на зачете в качестве дополнительного задания.

Отчет по лабораторной работе включает описание поэтапного решения предложенной задачи.

Пример задачи для лабораторной работы:

На рисунке изображён маятник. При $|\Theta| < 30^\circ$ его поведение описывается следующим уравнением:

$$m \frac{l^2}{3} \omega = \frac{1}{2} (-F + mg \sin \Theta - k\omega),$$

где m – масса маятника, $2l$ – его длина, а $k\omega$ – приближённое значение силы трения.

Для исследования будем использовать модель системы с параметрами $m = 5 \text{ кг}$ и $2l = 5 \text{ м}$.

К переменным, характеризующим состояние системы, относятся *угол наклона* Θ и его *приращение* ω . Управляемой переменной является *сила* F , приложенная к центру тяжести системы. Ниже представлены промежутки изменения этих переменных:

$$\omega \in [-0.8645, 0.8645] \text{ рад/с}$$

$$\Theta \in [-0.5283, 0.5283] \text{ рад}$$

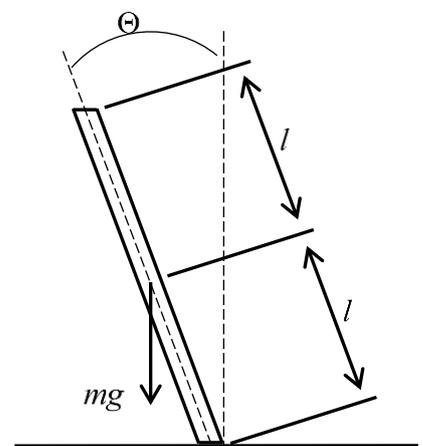
$$F \in [-3003.8, 3003.8] \text{ Н}$$

Для задания приближенных значений параметров введем лингвистическую шкалу

$$\{NB, NM, NS, ZR, PS, PM, PB\},$$

где NB – отрицательное большое, NM – отрицательное среднее, NS – отрицательное малое, PS – положительное малое, PM – положительное среднее, PB – положительное большое.

База правил представлена в следующей таблице.



⊖

	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZR</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>							
<i>NM</i>							
<i>NS</i>			<i>NS</i>		<i>ZR</i>		
<i>ZR</i>		<i>NM</i>		<i>ZR</i>		<i>PM</i>	
<i>PS</i>			<i>ZR</i>		<i>PS</i>		
<i>PM</i>							
<i>PB</i>							

В пакете MatLab построить поверхность «вход-выход». Проанализируйте активность каждого правила. Как изменяется поверхность в зависимости от типа функций принадлежности переменных?

Каждому из обучающихся предлагается тема реферата, который должен быть написан и оформлен к моменту промежуточной аттестации.

Темы рефератов:

1. Инструменты нечеткого моделирования: нечеткая величина и нечеткое число. Основные типы нечетких чисел. Числовые характеристики треугольных, трапециевидных и гауссовых нечетких чисел.
2. Типы продукционных правил. Свойства базы правил: полнота, противоречивость, избыточность, связность.
3. Механизм нечеткого логического вывода и варианты его реализации.
4. Построение самонастраивающихся нечетких моделей на основе данных о входах и выходах системы.
5. Применение нейро-нечетких сетей для настройки параметров нечеткой модели.
6. Преобразование нечетких моделей в нейро-нечеткие сети.
7. Самоорганизация и самонастройка нечетких моделей методами кластеризации.
8. Нечеткий регулятор на основе модели объекта управления.
9. Идентификация нечетких систем управления.
10. Многомерное нечеткое управление.
11. Устойчивость нечетких систем управления с неизвестными моделями объектов.
12. Представление условий гиперустойчивости для нечетких систем управления.

Правила оформления реферата:

Текст должен быть распечатан бумаге формата А4 через 1 интервал основным шрифтом Times New Roman, размер 14 pt.

Параметры страницы:

- поля (см) – левое 3, правое – 1,5, верхнее, нижнее – 2;
- нумерация страниц – снизу по центру;
- выравнивание – «по ширине»;
- ширина абзачного отступа 1,25 см;
- также необходимо включить режим переносов.

Для выделения терминов, определений рекомендуется использовать курсивный шрифт.

Все формулы внутри текста и расположенные на отдельной строке должны набираться только в редакторе формул: Equation или MathType, стиль и размер – «заводские».

Все используемые рисунки должны быть хорошего качества, рисунок должен быть полностью расположен на странице. Подрисуночные подписи не должны

быть включены в рисунок. Размер шрифта в рисунках 12 pt. Ссылки на рисунки в тексте оформляются следующим образом: рис. 1. Рисунок должен быть размещен ниже первой ссылки на него.

Размер шрифта в таблицах 12 pt. Ссылки на таблицы в тексте оформляются следующим образом: табл. 1 – Название. Таблица должна быть размещена ниже первой ссылки на нее.

Реферат должен содержать не менее 10 страниц, при этом количество источников (книги, статьи, интернет-источники) должно быть не менее 3.

Критерии оценки реферата

Оценка	Характеристика содержания
<i>Отлично</i>	Уверенное владение терминологией; знание основных фактов теории, корректное изложение методов, наличие иллюстративных примеров, подбор актуальных публикаций по теме реферата, аккуратное оформление текста.
<i>Хорошо</i>	Знание основных понятий и фактов теории, однако изложение методов не отличается глубиной, список использованных источников в полной мере соответствует теме, текст аккуратно оформлен.
<i>Удовлетворительно</i>	Наличие неглубоких теоретических знаний, изложение носит поверхностный характер, отсутствуют иллюстративные примеры, отсутствуют важные ссылки, имеются погрешности оформления текста реферата.
<i>Неудовлетворительно</i>	Теория изложена фрагментарно и отсутствует логическая связь между фрагментами текста, обучающийся демонстрирует непонимание теоретических основ, отсутствуют ссылки на использованные источники, текст оформлен со значительными погрешностями.

Критерии промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины (зачет):

Зачтено	План лабораторных занятий выполнен, обучающийся успешно прошел тестирование в рамках текущей аттестации, оценка реферата – отлично или хорошо.
Не зачтено	Не выполнен план лабораторных занятий или тест в рамках текущей аттестации не зачтен или оценка реферата – удовлетворительно или неудовлетворительно.