

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Элементы теории нечеткого управления

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Математическая робототехника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.01 Элементы теории нечеткого управления относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-4: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	ПК-4.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач ПК-4.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач ПК-4.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач	ПК-4.1: Знать основные подходы к построению и анализу моделей научных проблем и задач. ПК-4.2: Уметь анализировать модели решаемых научных проблем и задач ПК-4.3: Владеть методами построения и анализа моделей научных проблем и задач	Разноуровневые задания	Зачёт: Расчетно-графическая работа

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0

	Зачёт
--	-------

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
Раздел 1. Введение. Основные понятия теории нечетких множеств.	19	2	2	4	15
Раздел 2. Нечеткая арифметика. Нечеткие модели, методы нечеткого моделирования.	37	6	6	12	25
Раздел 3. Нечеткое управление.	51	8	8	16	35
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	16	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Введение. Основные понятия теории нечетких множеств.

История развития теории и приложений нечетких множеств и нечеткой логики. Операции над нечеткими множествами. Нечеткая и лингвистическая переменные. Нечеткие величины, интервалы и числа. Операции над нечеткими числами и интервалами. Методы дефазификации нечетких величин. Нечеткая логика и нечетко-логические операции с нечеткими высказываниями и нечеткими отношениями. Изучения экспертных и параметрических способов построения функций принадлежности. Экспертные способы: метод построения функции принадлежности на основе статической обработки мнений группы экспертов; метод построения функции принадлежности на основе парных сравнений. Параметрические способы: треугольная, трапециевидная, гауссова, сигмоидальная, синглтонная, S- Z- и П-образные функции принадлежности.

Раздел 2. Нечеткая арифметика. Нечеткие модели, методы нечеткого моделирования.

Полнота нечеткой модели. Непротиворечивость базы правил. Связность базы правил. Избыточность базы правил. Рекомендации по построению базы правил. Сокращение базы правил. Типы нечетких моделей: модель Мамдани, модель Такаги-Сугено, нейронечеткие модели. Нечеткое моделирование на основе экспертных знаний о системе. Построение самонастраивающихся нечетких моделей на основе измеренных данных о входах и выходах системы. Применение нейронечетких сетей для настройки параметров нечеткой модели. Преобразование нечеткой модели Мамдани в нейронечеткую сеть. Преобразование в нейронечеткую сеть нечеткой модели Такаги-Сугено. Настройка параметров нечеткой модели с помощью генетического алгоритма.

Раздел 3. Нечеткое управление.

Принципы построения регуляторов с нечеткой логикой. Принципы построения нейро-нечетких сетевых регуляторов. Алгоритмы настройки обратным распространением ошибки. Синтез и анализ нейро-нечеткого управления. Изучение алгоритма адаптации нейро-нечеткой системы управления ANFIS. Адаптация системы нечетко-логического управления и обучения на основе модели Мамдани. Адаптация системы нечетко-логического управления и обучения на основе модели Такаги-Сугено.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Элементы теории нечеткого управления» включает выполнение заданий под контролем преподавателя, решение домашних заданий и подготовку к экзамену. Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Разноуровневые задания) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Назовём α -сечением (α -срезом) нечёткого множества A чёткое множество

$$A_\alpha \triangleq \{x \in X : \mu_A(x) \geq \alpha\}, \quad 0 < \alpha < 1,$$

здесь X — универсальное множество над которым определено нечёткое множество A . Докажите, что α -сечения нечёткого множества $A = \{(x, \mu_A(x)) : x \in X\}$ выпуклы тогда и только тогда, когда функция принадлежности μ_A удовлетворяет неравенству

$$\mu_A(\lambda x + (1 - \lambda)y) \geq \min\{\mu_A(x), \mu_A(y)\} \quad \forall x, y \in X, \quad \lambda \in [0, 1].$$

2. Нечёткое множество A называется *выпуклым*, если все его α -сечения выпуклы. Пусть функция принадлежности μ_A нечёткого множества A имеет вид

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 10, \\ \frac{1}{1 + (x - 10)^{-2}}, & x > 10. \end{cases}$$

Покажите, что нечёткое множество A выпукло. Определите α -сечения этого множества при $\alpha = 0.5$, $\alpha = 0.8$ и $\alpha = 0.9$.

3. Рассмотрим нечёткие множества A = «низкий рост», B = «средний рост» и C = «высокий рост», заданные таблицей:

рост (см)	140	150	160	170	180	190
μ_A	1	1	0.9	0.7	0.3	0
μ_B	0	0	0.1	1	0.8	0
μ_C	0	0	0	0	0.3	1

1) Сравните эти множества между собой (напомним, что два нечётких множества называются *равными*, если равны их функции принадлежности). 2) Являются ли эти множества нормальными, если нет, то нормализуйте их. 3) Постройте α -сечения при $\alpha = 0.5$ и $\alpha = 0.3$. 4. Возраст человека субъективно можно описать такими понятиями как «молодой», «зрелый» и «пожилый». Определите соответствующую лингвистическую переменную $\mathcal{B} = \langle x, T, X, G, M \rangle$, здесь $T = \{\text{«молодой»}, \text{«зрелый»}, \text{«пожилый»}\}$, для чего: 1) задайте универсальное множество X (возможные значения возраста); 2) определите процедуры G образования новых значений лингвистической переменной \mathcal{B} , то есть задайте связи «и», «или» и модификаторы «не», «следует» и «очень»; 3) опишите семантическую процедуру M для задания на X нечетких множеств, описывающих значения «молодой», «зрелый» и «пожилый», а также всех значений из $G(T)$.

Критерии оценивания (оценочное средство - Разноуровневые задания)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все предложенные задачи решены полностью, применены оригинальные и короткие способы решения с необходимым обоснованием, решения задач доведены до правильных ответов.
отлично	Предложенные задачи решены, решения имеют необходимые обоснования, задачи доведены до ответов, в которых могут присутствовать незначительные погрешности.
очень хорошо	Предложенные задачи в основном решены (около 80-85%), хотя и с незначительными погрешностями, решения в основном обоснованы, но не полностью.
хорошо	Почти все предложенные задачи во многом решены, но решения не везде доведены до верного ответа. Степень выполнения заданий не ниже 60%.
удовлетворительно	Доля правильности выполнения заданий ниже 55-60%, решения приводятся без надлежащего теоретического обоснования.
неудовлетворительно	Степень выполнения заданий ниже 30%, демонстрируется низкий уровень знания теории.
плохо	Обнаружены существенные пробелы в понимании материала. Степень выполнения заданий ниже 10%.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Используя пакет Matlab и расширение Fuzzy Logic Toolbox, синтезируйте нечёткий регулятор в задаче управления уровнем воды в баке (см. рис. 1). Изменение уровня жидкости описывается дифференциальным уравнением

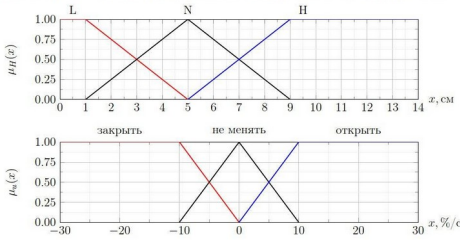
S dH/dt = Q_вх - σ √(2gH),

где H – высота уровня жидкости в резервуаре, S = 0.4 м² – площадь сечения резервуара, σ = 0.012 м² – площадь сечения отводящей трубы, Q_вх – приток жидкости, то есть объём жидкости, поступающей в резервуар за единицу времени, (размерность величины Q_вх есть м³/с) и g = 9.8 м/с² – ускорение свободного падения. Подача жидкости в бак осуществляется с помощью насоса, пропускная способность которого регулируется положением клапана. Требуется менять положение клапана насоса таким образом, чтобы в резервуаре поддерживался уровень H* = 0.05 м.



Рис. 1

Предположим, что входная лингвистическая переменная «уровень жидкости» принимает следующие нечёткие значения: «низкий (L)», «нормальный (N)» и «высокий (H)», а выходная лингвистическая переменная «положение клапана» принимает значения: «заккрыть», «не менять» и «открыть». Функции принадлежности этих переменных заданы графически.



Домашняя работа по курсу «Элементы теории нечеткого управления» за 11.05.2024

Приток жидкости зависит от положения клапана как

Q_вх = 0.02 sat (∫_0^t 0.01 u dt) .

Нечёткие правила имеют вид:

if «уровень жидкости» is «нормальный» then «положение клапана» is «не менять»
if «уровень жидкости» is «высокий» then «положение клапана» is «заккрыть»
if «уровень жидкости» is «низкий» then «положение клапана» is «открыть»

Для нечёткого вывода используется вывод Мамдани.

Критерии оценивания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Степень правильности и полноты выполнения расчетно-графической работы не ниже 60-65%, при этом студент демонстрирует достаточное знание и адекватное понимание необходимых теоретических фактов.
не зачтено	Расчетно-графическая работа выполнена менее, чем на 60%, при этом обнаружены значительные пробелы в знании и понимании необходимых теоретических фактов.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Круглов Владимир Васильевич. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети : учеб. пособие для вузов. - М. : Физматлит, 2001. - 224 с. - ISBN 5-94052-027-8 : 79.40., 1 экз.
2. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. - СПб. : БВХ-Петербург, 2003. - 736 с. - ISBN 5-94157-087-2 : 229.00., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Белозерова Г. И. Нечеткая логика и нейронные сети. Часть I : Учебное пособие. Ч. 1. Нечеткая логика и нейронные сети. Часть I / Белозерова Г. И., Скуднєв Д. М., Кононова З. А. - Липецк : Липецкий ГПУ, 2017. - 64 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции Липецкий ГПУ - Математика. - ISBN 978-5-88526-875-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=719668&idb=0>.
2. Нечеткая логика : учебно-методическое пособие. - Уфа : БашГУ, 2020. - 84 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции БашГУ - Информатика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=779761&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

не требуется

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Бирюков Руслан Сергеевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Осипов Григорий Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.