

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  
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совет ННГУ  
протокол от  
«30» ноября 2022 г. № 13

**Рабочая программа дисциплины**

**Элементы теории нечеткого управления**  
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

**магистратура**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

**01.04.02 Прикладная математика и информатика**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Математическое моделирование динамики систем и процессов управления**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год

### Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Элементы теории нечеткого управления» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений. Код дисциплины **Б1.В.04**

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.04, «Элементы теории нечеткого управления» относится к части ООП направления подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика, формируемой участниками образовательных отношений.

### 1. 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	
<b>ПК-11.</b> Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач производственно-технологической деятельности.	<b>ПК-11.1.</b> Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач	<u>Знать:</u> основные подходы к построению моделей производственно-технологических задач и методы анализа этих моделей.	Собеседование
	<b>ПК-11.2.</b> Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач	<u>Уметь:</u> анализировать модели решаемых производственно-технологических задач	Расчетно-графическая работа
	<b>ПК-11.3.</b> Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач	<u>Владеть:</u> методами построения и анализа моделей производственно-технологических задач	Расчетно-графическая работа
<b>ПК-12.</b> Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное про-	<b>ПК-12.1.</b> Знает основные методы разработки математических методов, системного и прикладного программного обеспечения для решения задач производственно-	<u>Знать:</u> основные математические методы, применяемые при решении задач производственно-технологической деятельности	Собеседование

граммное обеспечение для решения задач производственно-технологической деятельности.	технологической деятельности		
	<b>ПК-12.2.</b> Умеет оценивать трудоемкость разработки программных средств для решения задач производственно-технологической деятельности	<u>Уметь:</u> оценивать трудозатраты, связанные с разработкой программных средств, применяемых при решении производственных задач	Расчетно-графическая работа
	<b>ПК-12.3.</b> Имеет навыки разработки системного программного обеспечения для решения задач производственно-технологической деятельности	<u>Владеть:</u> навыками разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач производственно-технологической деятельности	Расчетно-графическая работа

## 2. Структура и содержание дисциплины

### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>2 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>33</b>
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	16
- занятия лабораторного типа	0
- текущий контроль (КСР)	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>	

### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы.				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Раздел 1. Введение. Основные понятия теории нечетких множеств.	11	2	0		2	9
Раздел 2. Нечеткая арифметика. Нечеткие модели, методы нечеткого моделирования.	26	6	8		14	12
Раздел 3. Нечеткое управление.	34	8	8		16	18

Текущий контроль (КСР)	1				1	
Промежуточная аттестация - зачет						
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>16</b>	<b>16</b>		<b>33</b>	<b>39</b>

Текущий контроль успеваемости реализуется в формах опросов на занятиях семинарского типа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- основных понятий и определения курса «Элементы теории нечеткого управления»;
- умения применять изученные структуры данных и алгоритмы при решении возникающих вопросов при сопровождении проекта –(ПК-11).
- системного и прикладного программного обеспечения для решения задач производственно-технологической деятельности (ПК-12)

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачет).

### 3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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. 5.2.

## 4. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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. Имеются 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, без ошибок.	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.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. 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.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1 Контрольные вопросы

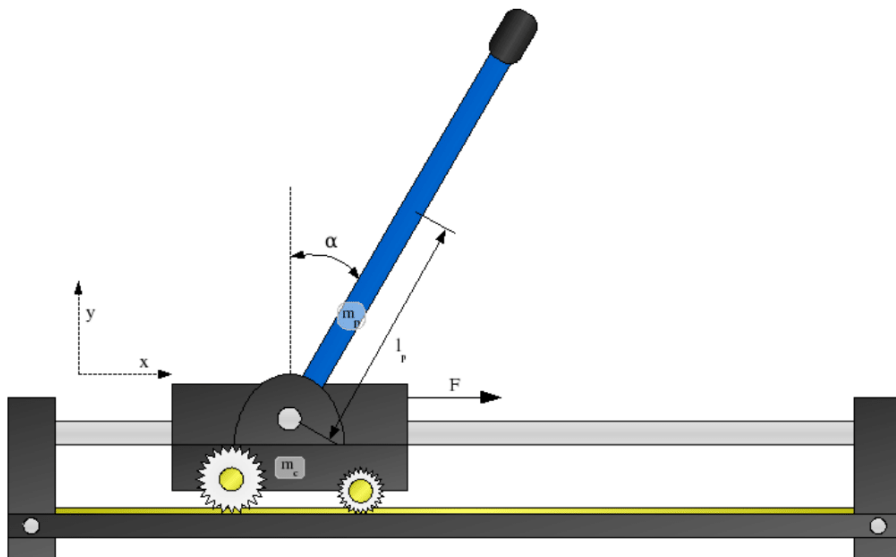
Вопросы	Код компетенции (согласно РПД)
1. Нечёткая информация и выводы. Нечёткие множества. Основные характеристики нечётких множеств.	ПК-11
2. Функции принадлежности нечётких множеств и методы их построения.	ПК-11
3. Операции над нечёткими множествами: пересечение, объединение, дополнение до четкого множества.	ПК-11
1. Нечёткая и лингвистическая переменные. Нечёткие числа.	ПК-11
2. Нечёткие выводы. Алгоритмы Мамдани (Mamdani), Tsukamoto, Сугено (Sugeno), Larsen.	ПК-11
3. Упрощённый алгоритм нечёткого вывода. Методы приведения к чёткости.	ПК-11
4. Нечеткие модели, методы нечеткого моделирования.	ПК-11
5. Нечеткие модели. Свойства правил, баз правил и нечетких моделей. Сокращение баз правил. Масштабирование входов и выходов нечеткой модели.	ПК-11
6. Типы нечетких моделей: модели Мамдани, модели Такаги-Сугено. Нейро-нечеткие модели.	ПК-11
7. Нечеткое моделирование на основе экспертных знаний о системе.	ПК-12
8. Построение самонастраивающихся нечетких моделей.	ПК-12
9. Применение нейронечетких сетей для настройки параметров нечеткой модели.	ПК-12
10. Преобразование нечеткой модели Мамдани в нейронечеткую сеть	ПК-12
11. Преобразование в нейронечеткую сеть нечеткой модели Такаги-Сугено.	ПК-12
12. Нечеткое управление. Статистические нечеткие регуляторы. Динамические нечеткие регуляторы.	ПК-12
13. Устойчивость нечетких систем управления.	ПК-12
14. Устойчивость нечетких систем управления с неизвестными моделями объектов.	ПК-12
15. Пакет Fuzzy Logic Toolbox.	ПК-12

### 5.2.2. Типовые задания в расчетно-графической работе для оценки сформированности компетенции ПК-11

На рисунке приведено схематическое изображение перевернутого маятника, точка подвеса которого находится на тележке, движущейся в горизонтальной плоскости. Тележка управляется мотором, который обеспечивает тяговое усилие  $F_{\text{тяг}}$ :

$$F_{\text{тяг}} = K_f(V - K_s \dot{x}),$$

где  $V$  — управление — напряжение, подаваемое на обмотку электродвигателя,  $x$  — координата тележки,  $K_f = 1.726$  Н/В и  $K_s = 4.487$  В·с/м — конструктивные параметры.



1. Используя  $\theta$ ,  $\dot{\theta}$ ,  $x$  и  $\dot{x}$  в качестве переменных состояния, проверьте, что кинетическая энергия системы может быть записана в виде:

$$T = \frac{1}{2}(m + M)\dot{x}^2 + \frac{1}{2}(I + ml^2)\dot{\theta}^2 - ml\dot{x}\dot{\theta}\cos\theta,$$

где  $m = 0.127$  кг — масса маятника,  $I = 1.2 \cdot 10^{-3}$  кг·м<sup>2</sup> — момент инерции маятника относительно центра масс,  $l = 0.1778$  м — расстояние от точки крепления до центра масс,  $M = 1.206$  кг — масса тележки.

2. Запишите потенциальную энергию системы, считая, что нулевой потенциальный уровень совпадает с горизонтальным положением маятника.
3. Используя уравнения Лагранжа, покажите, что уравнения, описывающие динамику системы, могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned}(m + M)\ddot{x} - ml\ddot{\theta} \cos \theta + ml\dot{\theta}^2 \sin \theta &= F_{\text{тяг}} - B_{eq}\dot{x}, \\ (I + ml^2)\ddot{\theta} - ml\ddot{x} \cos \theta - mgl \sin \theta &= -B_p\dot{\theta},\end{aligned}$$

где  $B_{eq} = 5.4 \text{ Н}\cdot\text{с/м}$  — коэффициент вязкого трения между колесом каретки и направляющей и  $B_p = 2.4 \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$  — коэффициент вязкого трения в точке крепления маятника.

4. Найдите состояния равновесия в системе, определите их тип и линеаризуйте уравнения в окрестности неустойчивого состояния равновесия.

### 5.2.2. Типовые задания в расчетно-графической работе для оценки сформированности компетенции ПК-12

5. Синтезируйте оптимальный  $\mathcal{H}_2$ -регулятор в классе линейных обратных связей по состоянию

$$V = a_1\theta + a_2x + a_3\dot{\theta} + a_4\dot{x}. \quad (1)$$

Проверьте работоспособность найденного закона управления, для этого, используя либо пакет прикладных программ MATLAB, либо язык программирования Python с библиотеками Matplotlib и NumPy, постройте графики переходных процессов как для линейной системы, так и для нелинейной, замкнутой найденным  $\mathcal{H}_2$ -регулятором. Оцените область управляемости, порождаемую построенным регулятором.

6. Синтезируйте оптимальный  $\mathcal{H}_\infty$ -регулятор вида (1). Проверьте работоспособность получившегося регулятора как для линейной системы, так и для нелинейной.
7. При помощи конечно-разностной аппроксимации производной (метод Эйлера) перейдите от исходной непрерывной системы к дискретной. Синтезируйте оптимальные  $\mathcal{H}_2$ - и  $\mathcal{H}_\infty$ -регуляторы и проверьте их работоспособность как для линейной системы, так и для нелинейной. Сравните графики переходных процессов системы, замкнутой дискретным регулятором, с графиками переходных процессов системы, замкнутой регуляторами, найденными в пунктах 5 и 6. Как меняются переходные процессы с увеличением интервала квантования.
8. Как изменятся результаты предыдущего пункта, если вместо конечно-разностной аппроксимации производной использовать преобразование Тастина?
9. Считая, что управление является кусочно постоянной функцией между моментами квантования, то есть  $u(t) = u_k = \text{const}$  при  $t_k \leq t < t_{k+1}$ , перейдите от непрерывной линейной системы

$$\dot{x} = Ax + B_v v + B_u u$$

к непрерывно-дискретной по формуле:

$$\xi_{k+1} = A_d \xi_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} e^{A(t_{k+1}-s)} B_v v(s) ds + B_{d,u} u_k, \quad A_d = e^{A(t_{k+1}-t_k)}, \quad B_{d,u} = \int_0^{t_{k+1}-t_k} e^{As} B_u ds.$$

Постройте для полученной непрерывно-дискретной системы  $\mathcal{H}_\infty$ -регулятор вида (1). Сравните работоспособность найденного закона управления с регуляторами, полученными в пунктах 7 и 8, а также с регуляторами, найденными в пунктах 5 и 6.

## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Коновалов Б.И., Лебедев Ю.М. Теория автоматического управления. М.: Лань. 2016. — Электронная библиотечная система «Издательства Лань», 2016. — Раздел: Математика/



Прикладная математика

URL: [https://e.lanbook.com/book/71753?category\\_pk=917#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/71753?category_pk=917#book_name)

2. Неймарк Ю. И., Коган Н. Я., Савельев В. П. Динамические модели теории управления. М.: Наука, 1985. (135 экз.)  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=288575&DB=1>  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=258167&DB=1>
3. Неймарк Ю.И. Динамические системы и управляемые процессы. М.: Наука, 1978. (41 экз.)  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=381303&DB=1>

б) дополнительная литература

1. Ощепков А. Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB. М.: Лань. 2013. – Электронная библиотечная система «Издательства Лань», 2016. – Раздел: Информатика/ САПР. URL: [https://e.lanbook.com/book/68463?category\\_pk=1537#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/68463?category_pk=1537#book_name)
2. Певзнер Л.Д. Теория систем управления. М.: Лань. 2013. – Электронная библиотечная система «Издательства Лань», 2016. – Раздел: Информатика/ САПР. URL: [https://e.lanbook.com/book/68469#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/68469#book_name)
3. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. М.: Лань. 2015. – Электронная библиотечная система «Издательства Лань», 2016. – Раздел: Информатика/ САПР. URL: [https://e.lanbook.com/book/68460#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/68460#book_name)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ, URL: <http://www.unn.ru/books/resources.html>. – свободный доступ.
2. Электронная библиотечная система «Издательство Лань», 2016, URL: <https://e.lanbook.com>

## 6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного и семинарского типа), оснащенные оборудованием и 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 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»

Автор (ы): доцент, к.ф.-м.н. Бирюков Р.С.

Рецензент (ы) \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой ТУиДС, д.ф.-м.н. \_ Осипов Г.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии Института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.