

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
радиотехники и компьютерных  
технологий**

**Д.А. Гаврилов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Нейроуправление
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра интеллектуальных информационных систем и технологий
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: В.И. Мухамадиев, ассистент

Программа обсуждена на заседании кафедры интеллектуальных информационных систем и технологий  
30.08.2023

## Аннотация

Рассматриваются задачи управления динамическими объектами и способы применения нейронных сетей для управления. Дается введение в фильтрацию сигналов, фильтр Винера, LMS фильтр. Дается понятие объекта управления, видов объектов управления, уставки, управляющих воздействий. Исследуется подход «черного ящика». Рассматриваются вопросы нейросетевой идентификации объекта, различные схемы нейросетевого управления. Обучение с подкреплением и его применения для решения задач управления. Задачи кинематики, робототехника.

Практические занятия проходят в Матлаб.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- введение в нейроуправление;
- освоение современных подходов и методов управления динамическими системами с использованием нейронных сетей;
- освоение механизмов целеполагания, выбора и подготовки данных и построения алгоритмов управления с использованием нейронных сетей;
- формирование комплексных знаний и развитие базовых теоретико-практических представлений о методах настройки структуры и параметров нейронных сетей для управления;
- приобретение навыков анализа применимости нейросетевого подхода и сравнение его эффективности со стандартными классическими методами управления динамическими системами;
- формирование практических навыков применения изученных методов и способов управления динамическими системами с использованием нейронных сетей.

### Задачи дисциплины

- освоение студентами подходов, методов и моделей нейронных сетей для управления динамическими системами;
- приобретение практических навыков применения нейронных сетей для управления динамическими системами в условиях многомерности данных, наличии ошибок и шумов;
- приобретение умения интерпретировать полученные результаты для построения планов экспериментальных исследований и выбора оптимальных параметров нейронных сетей для управления динамическими системами.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов

ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- современные проблемы нейрорегуляции;
- базовые подходы, методы и модели нейронных сетей, позволяющие управлять динамическими системами;
- основные методы управления динамическими системами с использованием нейронных сетей;
- теоретические и практические аспекты подхода для анализа различных моделей нейронных сетей, настройки их структуры и параметров, в частности с помощью метода обратного распространения ошибки.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач управления;
- делать корректные выводы из сопоставления результатов теоретического и компьютерного моделирования (эксперимента);
- производить численные оценки эффективности решения задачи управления;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- планировать численный эксперимент и составлять план эксперимента;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов;
- строить современные прикладные нейросетевые алгоритмы управления динамическими системами.

владеть:

- прикладным аппаратом нейронных сетей и нейрорегуляции;
- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования задач;
- навыками грамотной обработки результатов эксперимента и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- методами решения широкого спектра задач управления с использованием нейросетевых технологий.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение в нейрорегуляцию		7		4

2	Нейросетевая идентификация динамических объектов		7		4
3	Нейросетевое инверсное управление		8		4
4	Нейросетевое прямое управление с эмулятором		8		3
Итого часов			30		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Введение в нейроуправление

Понятие нейроидентификации, нейроуправления, нейродиагностики. Структуры статических и динамических нейронных сетей (НС). Алгоритмы настройки динамических нейронных сетей. Алгоритм обратного распространения ошибки во времени. Онлайн и оффлайн обучение. Понятие о плане экспериментов для управления. Знакомство с МАТЛАБ Neural Network Toolbox и Simulink.

##### 2. Нейросетевая идентификация динамических объектов

Понятие объекта управления. Виды объектов управления. Понятие уставки, управляющих воздействий. Модель черного ящика. Нейросетевая идентификация одномерного статического объекта. Нейросетевая идентификация динамического объекта. Разработка программы идентификации динамических объектов. Составление плана экспериментов. Моделирование идентификатора объекта. Анализ результатов.

##### 3. Нейросетевое инверсное управление

Понятие инверсного управления. Структура НС для инверсного управления. Ограничения применения инверсного управления. Составление обучающего и тестового множеств. Разработка программы инверсного управления динамическими объектами. Составление плана экспериментов. Моделирование инверсного контроллера. Анализ результатов.

##### 4. Нейросетевое прямое управление с эмулятором

Понятие прямого управления с эмулятором. Структура НС для прямого управления с эмулятором. Составление обучающего и тестового множеств. Разработка программы прямого управления с эмулятором для динамических объектов. Составление плана экспериментов. Моделирование прямого контроллера с эмулятором. Анализ результатов.

#### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

#### 6. Перечень рекомендуемой литературы

##### Основная литература

1. Нейроуправление и его приложения [Текст] = Neuro-Control and its Applications, [монография]/С. Омату, М. Халид, Р. Юсоф, -М., ИПРЖР, 2000

2. Нейронные сети : полный курс = Neural Networks. A Comprehensive Foundation, [учебное пособие] / Саймон Хайкин ; [перевод с английского]. Санкт-Петербург, Диалектика, 2019

#### Дополнительная литература

1. Введение в методы машинного обучения с подкреплением, учебное пособие / А. И. Панов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ; Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет). Москва, МФТИ, 2019

### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

<http://lib.mipt.ru/> - электронная библиотека Физтеха  
<http://www.edu.ru> - федеральный портал «Российское образование».  
<http://benran.ru> - библиотека по естественным наукам Российской академии наук.  
<http://www.elibrary.ru> - научная электронная библиотека  
<http://cyberleninka.ru> - научная электронная библиотека «Киберленинка»  
<https://ieeexplore.ieee.org> – библиотека общества IEEE  
<http://www.deeplearningbook.org/> - онлайн книга по глубокому обучению  
<http://matlab.exponenta.ru> – пособия, примеры, форум по применению Матлаб, Simulink и Neural Network Toolbox

### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На семинарских занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение курса «Нейроуправление» требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе);
- решение задач, предлагаемых студентам на семинарах,
- разработка программ и их экспериментальные исследования по теме занятия.

Показателем владения материалом служит умение ставить и решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра интеллектуальных информационных систем и технологий
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** В.И. Мухамадиев, ассистент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Нейроуправление» обучающийся должен:

### знать:

- современные проблемы нейруправления;
- базовые подходы, методы и модели нейронных сетей, позволяющие управлять динамическими системами;
- основные методы управления динамическими системами с использованием нейронных сетей;
- теоретические и практические аспекты подхода для анализа различных моделей нейронных сетей, настройки их структуры и параметров, в частности с помощью метода обратного распространения ошибки.

### уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач управления;
- делать корректные выводы из сопоставления результатов теоретического и компьютерного моделирования (эксперимента);
- производить численные оценки эффективности решения задачи управления;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- планировать численный эксперимент и составлять план эксперимента;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов;
- строить современные прикладные нейросетевые алгоритмы управления динамическими системами.

### владеть:

- прикладным аппаратом нейронных сетей и нейроуправления;
- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования задач;
- навыками грамотной обработки результатов эксперимента и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- методами решения широкого спектра задач управления с использованием нейросетевых технологий.

### 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Примеры контрольных вопросов:

Отметьте правильный ответ.

1. При обучении нейронной сети типа NARX по разомкнутому циклу одним из входов в нее является
  - а) выход сети в прошлом
  - б) указания учителя в прошлом
  - в) выходы нейронов первого слоя в прошлом
  - г) выходы нейронов последнего слоя в прошлом
2. Верно ли, что решение обратной кинематической задачи всегда более трудоемко чем решение прямой кинематической задачи?
  - а) верно
  - б) не верно
  - в) трудоемкость этих задач всегда одинаковая

Задание:

Выход канала связи описывается следующей функцией:

$y(t) = 0.3 * x(t) + 2.4 * x(t-1) - 4.1 * x(t-2) + 0.3 * x(t-3) - 2.6 * x(t-4)$ ,  $x(t)$  – сигнал на входе в канал.

Мы хотим передать через канал связи фразу (без кавычек) 'Hello World, this is my first program of Wiener equalizer'. Для этого нужно как-то закодировать передаваемую информацию в сигнал. Мы решили поступить следующим образом:

- будем интерпретировать каждый символ (в том числе пробелы) в фразе как код (число), в соответствии с таблицей символов ASCII ;
- вычтем из этого кода число 80;
- для передачи каждого символа будем использовать  $T=30$  отсчетов сигнала, амплитуда которого равна этой разнице.

Например, для символа 'H' (код 72) передаваемый сигнал будет иметь вид -8, -8, -8, -8 ..., (и так 30 раз) .

Полный сигнал составляется из сигналов каждого символа, кроме того к нему добавляется шум, который мы смоделируем как случайную добавку к каждому отсчету сигнала, равномерно распределенную в диапазоне  $[-1 ; 1]$ . Сигнал с шумом подается на канал связи и, конечно, искажается в нем.

Построить и обучить фильтр Винера, который мог бы «выровнять» такой канал, т.е. получить сигнал с выхода канала связи и восстановить его.

- 1) Привести на одном графике различным цветом и типом линий изображения исходного сигнала с шумом, сигнала на выходе канала связи, сигнала на выходе фильтра Винера после обучения. Подписать легенду графика. Вывести на экран исходную передаваемую фразу и полученную на выходе обученного фильтра Винера, для чего усреднить и округлить до целого последние 10 значений отсчетов сигнала каждого символа и перевести обратно в текст.
- 2) Передать через канал фразу 'This is my second signal' и используя обученный в 1) фильтр Винера восстановить сигнал с выхода канала связи. Перевести восстановленный сигнал обратно в текст, также, как в 1).

В отчет привести полное описание процесса решения задания, необходимые графики и вывод на экран. К отчету приложить рабочий код, включая все необходимые для его работы функции.



За каждое задание студент получает оценку в соответствии с таблицей критериев оценивания. Эта оценка учитывается при семестровой аттестации

Примеры контрольных заданий для сдачи дифференцированного зачета:

1. Разработать программу нейросетевой идентификации динамических объектов.
2. Разработать программу нейросетевого инверсного управления динамическим объектом.
3. Разработать программу нейросетевого прямого управления динамическим объектом с эмулятором.
4. Разработать программу нейросетевого косвенного управления динамическим объектом с ПИД регулятором.
5. Разработать программу нейросетевой диагностики состояния динамических объектов (на примере силового трансформатора).

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета:

1. Динамические нейронные сети.
2. Структура НС для нейроидентификации динамических объектов.
3. Структура НС для инверсного управления.
4. Разработка программы инверсного управления динамическими объектами. Составление плана экспериментов.
5. Моделирование инверсного контроллера. Анализ результатов.
6. Структура НС для прямого управления с эмулятором.
7. Составление обучающего и тестового множеств.
8. Моделирование прямого контроллера с эмулятором. Анализ результатов.
9. Структура НС для косвенного управления с ПИД регулятором.
10. Структура НС для нейродиагностики состояния систем.

#### **Критерии оценивания**

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

При проведении зачета обучающемуся предоставляется 20 минут на подготовку. Опрос обучающегося проводится в течение 30 минут.

Во время проведения зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.