

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Галунин Сергей Александрович
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 27.07.2023 10:39:08
Уникальный программный ключ:
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП
«Энергоэффективные интегри-
рованные электроприводные
системы»



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

**«НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ»**
для подготовки магистров
по направлению

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

по программе

«Энергоэффективные интегрированные электроприводные системы»

Санкт-Петербург

2022

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

д.т.н., доцент Соловьева Е.Б.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ТОЭ
24.01.2022, протокол № 4

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией
ФЭА, 16.03.2022, протокол № 7

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФЭА
Обеспечивающая кафедра	ТОЭ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	3
Курс	1
Семестр	2

Виды занятий

Лекции (академ. часов)	34
Лабораторные занятия (академ. часов)	17
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	52
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	56
Всего (академ. часов)	100

Вид промежуточной аттестации

Экзамен (курс) 1

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ»

Дисциплина знакомит с основами математического моделирования и синтеза нелинейных устройств и систем по соотношению вход-выход. Исследуются разные формы нелинейных моделей, классифицируемые как многомерные полиномы, регрессионные модели и нейронные сети. Выполняется их сравнительный анализ. Изучаются методы построения моделей в результате решения задач аппроксимации операторов нелинейных устройств в среднеквадратичной метрике с применением множеств входных и выходных сигналов. Даются навыки построения разных типов нейронных сетей в системе MATLAB. Изучаются примеры моделирования нелинейных преобразователей, фильтров, компенсаторов.

SUBJECT SUMMARY

«NEURAL NETWORKS FOR MATHEMATICAL MODELING OF DEVICES AND SYSTEMS»

The discipline describes the basics of mathematical modeling and synthesis of nonlinear devices and systems in the framework of the input-output mapping. Various forms of nonlinear models are investigated and classified as multi-dimensional polynomials, regression models, and neural networks. Their comparative analysis is carried out. The methods of constructing models are studied when solving the approximation problems of the nonlinear device operators in the mean-square norm using the sets of the input and output signals. Skills of building the different types of neural networks in the MATLAB system are given. The modeling examples of nonlinear converters, filters, compensators are represented.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Цель дисциплины – получение теоретических знаний и формирование практических навыков в вопросах математического моделирования, которое необходимого для разработки и эксплуатации электротехнических систем, формирование умений и получение навыков применения теоретических знаний для решения практических задач в профессиональной деятельности.
2. Задача дисциплины – изучение понятий, основных теоретических положений и методов дисциплины, приобретение знаний и формирование умения и навыков математического моделирования динамических устройств и систем с применением нейронных сетей разной архитектуры, функциональных рядов и полиномов, а также регрессионных структур.
3. В результате освоения дисциплины студент должен приобрести знания о роли математического моделирования в проектировании и эксплуатации электротехнических устройств и систем; о разных формах математических моделей и численных методах их построения с применением системы MATLAB, об оценке качества моделирования характеристик электротехнических объектов и способах повышения точности моделирования.
4. В результате изучения дисциплины студент должен иметь умения формулировать задачи аппроксимации операторов динамических устройств и систем, находить параметры математических моделей, оценивать точность моделирования, выполнять сравнительный анализ математических моделей, интерпретировать результаты и делать выводы.
5. В результате изучения студент должен иметь навыки теоретического и численного моделирования аналоговых и цифровых устройств, поведенческого моделирования на основе полиномиальных, регрессионных и нейронных моделей.

лей, компьютерного моделирования динамических систем с использованием нейронных сетей в программной среде MATLAB.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «История науки и техники в области технических систем»
2. «Теория принятия решений»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Компьютерно-информационные технологии анализа и синтеза электротехнических комплексов»
2. «Машинное обучение и анализ данных»
3. «Релейное управление для защиты электротехнических систем»

3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
ПК-1	Способен формулировать цели и задачи научных исследований в области электротехники и электроэнергетики, выбирать методы и средства решения задач
ПК-1.3	<i>Владеет современными методами и средствами решения задач в области электротехники и электроэнергетики</i>

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	2	0		0
2	Полиномиальные модели нелинейных динамических систем (НДС)	4	0		6
3	Понятие нейронной сети (НС)	2	2		3
4	Модели нейрона	4	2		6
5	Многослойные нейронные сети. Классификация рекуррентных сетей	4	5		5
6	Рекуррентные нейронные сети	4	4		8
7	Алгоритм обратного распространения ошибки	2	0		4
8	Структуры нейронных сетей для поведенческого моделирования НДС	4	4		8
9	Адаптивная сеть с системой нечеткого вывода	4	0		6
10	Сравнительный анализ поведенческих моделей НДС	4	0	1	10
	Итого, ач	34	17	1	56
	Из них ач на контроль	0	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе				108/3

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Поведенческое моделирование нелинейных динамических систем (НДС) по соотношению вход-выход. Области применения операторного подхода. Задача аппроксимации операторов НДС по соотношению вход-выход. Свойства однозначности и непрерывности операторов НДС. Постановка задач идентификации, моделирования и синтеза НДС. Классификация поведенческих моделей.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
2	Полиномиальные модели нелинейных динамических систем (НДС)	Математические модели в виде функционального ряда и полинома Вольтерры, различия между ними, преимущества и недостатки моделей. Нахождение параметров моделей в среднеквадратичной метрике. Структурная схема модели с расщепленными сигналами. Свойства расщепленных сигналов. Математическое описание расщепителей и нелинейных безынерционных преобразователей. Регрессионные модели и их структуры. Классификация и области применения нелинейных фильтров. Пример синтеза полиномиальных фильтров для удаления импульсного шума с изображений.
3	Понятие нейронной сети (НС)	Нейронная сеть как математическая модель НДС. Свойства и области применения НС. Математическая модель и структура нейрона. Топологии нейронных сетей с точки зрения прохождения данных. Концепции и правила обучения НС.
4	Модели нейрона	Персептрон. Сигмоидольный нейрон. Нейрон типа ADALINE. Паде нейрон. Квадратичный и Сигма-Пи нейроны. Нейрон Хебба. Стохастический нейрон. Нейрон типа «победитель получает все».
5	Многослойные нейронные сети. Классификация рекуррентных сетей	Отличительные характеристики многослойной персептронной сети. Теорема о НС, как универсальном аппроксиматоре. Классификация рекуррентных НС.
6	Рекуррентные нейронные сети	Глобальные рекуррентные НС. Полносвязная рекуррентная сеть. Частично рекуррентная сеть (сеть Элмана, сеть Джордана, многослойная рекуррентная сеть). Сеть в пространстве состояний. Клеточные НС. Локальные рекуррентные НС. Динамические модели нейронов (обратная связь с активацией, обратная связь с выходом, обратная связь с двумя петлями). Блочно-ориентированные модели нейронов (модель Винера, Гаммерштейна, Винера-Гаммерштейна).
7	Алгоритм обратного распространения ошибки	Два направления в вычислениях. Последовательный и пакетный режимы вычислений. Критерии остановки вычислений.
8	Структуры нейронных сетей для поведенческого моделирования НДС	Радиально-базисная нейронная сеть. Вейвлет-нейронная сеть. Функционально связанная НС. Полиномиальная персептронная сеть. Каноническая кусочно-линейная НС.
9	Адаптивная сеть с системой нечеткого вывода	Структура системы нечеткого логического вывода. Нечеткие множества. Лингвистические переменные. ANFIS сеть. Нейронечеткие сети с моделями Такаги-Сугено и Мамдани-Заде.
10	Сравнительный анализ поведенческих моделей НДС	Сравнительный анализ нейронных моделей НДС. Сравнительный анализ полиномиальных, регрессионных и нейронных моделей НДС.

4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Краткие основы программирования в системе MATLAB. Матрицы, структуры, ячейки и классы системы MATLAB.	2
2. Модели искусственного нейрона в MATLAB	2
3. Исследование персептронных сетей в MATLAB	2
4. Исследование линейных сетей и сетей прямого распространения в MATLAB	2
5. Коллоквиум № 1	1
6. Исследование сети Элмана в MATLAB	2
7. Исследование сети Хопфилда в MATLAB	2
8. Исследование радиальных базисных сетей в MATLAB.	2
9. Коллоквиум № 2	2
Итого	17

4.3 Перечень практических занятий

Практические занятия не предусмотрены.

4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

4.7 Доклад

Доклад не предусмотрен.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	11
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	5
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	5
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
ИТОГО СРС	56

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Бычков, Юрий Александрович. Непрерывные и дискретные нелинейные модели динамических систем [Текст] : монография / Ю. А. Бычков, Е. Б. Соловьева, С. В. Щербаков, 2018. -419 с.	неогр.
2	Осовский, Станислав. Нейронные сети для обработки информации [Текст] / С. Осовский; Пер. с пол. И.Д. Рудинского, 2004. -343 с.	20
Дополнительная литература		
1	Гудфеллоу Я. Глубокое обучение [Электронный ресурс], 2018. -652 с.	неогр.
2	Глубокое обучение без математики [Электронный ресурс]. Т. 1 : Основы / Э. Гласснер, 2019. -578 с.	неогр.
3	Гласснер Э. Глубокое обучение без математики. Том 2. Практика [Электронный ресурс] : руководство / Э. Гласснер, 2020. -610 с.	неогр.
4	Паттерсон Д. Глубокое обучение с точки зрения практика [Электронный ресурс], 2018. -418 с.	неогр.

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Использование MATLAB: http://www.mathworks.com/
2	Нейронные сети в MATLAB: http://www.exponenta.ru/

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=6095>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Нейронные сети для математического моделирования устройств и систем» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: экзамен.

Экзамен

Оценка	Описание
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок теорем
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения.
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

Особенности допуска

По результатам выполнения в семестре 7 лабораторных работ, посещения и активного участия в коллоквиумах, получения оценки "зачтено" на коллоквииуме студент получает допуск к экзамену.

Билет к экзамену содержит 5 теоретических вопросов.

Оценка по итогам экзамена выставляется как средний балл, полученный за ответы по всем вопросам.

6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	Операторный подход к моделированию НДС по соотношению вход-выход.
2	Различия между методологиями «белого, серого и черного ящика»
3	Различия между функцией, функционалом и оператором
4	Однозначность – свойство соотношения вход-выход устройства
5	Свойства линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных, аналоговых и цифровых устройств
6	Отличия в идентификации, моделировании и синтезе НДС в рамках операторного подхода
7	Оценки точности аппроксимации нелинейного оператора НДС
8	Классификация поведенческих моделей НДС
9	Непрерывность – свойство модели НДС
10	Свойства нелинейности и однородности ряда Вольтерры и полинома Вольтерры
11	Отличие ряда Вольтерры и полинома Вольтерры
12	Преимущества и недостатки моделей в виде ряда Вольтерры и полинома Вольтерры
13	Функциональная схема модели на основе метода расщепления
14	Свойства расщепленных сигналов
15	Формы расщепителя и нелинейного безынерционного преобразователя
16	Преимущества моделей на базе расщепленных сигналов по сравнению с полиномом Вольтерры
17	Структуры MA-модели (Moving Average model) и ARARX-модели
18	Структуры AR-модели (AutoRegressive model) и ARARMAX-модели
19	Структуры AR-модели (AutoRegressive model) и ARARMAX-модели
20	Структуры ARMA-модели (AutoRegressive Moving Average model) и ОЕ-модели (Output Error model)
21	Структуры ARMAX-модели (AutoRegressive Moving Average with eXogenous input model) и FIR-модели (Finite Impulse Response model)

22	Структура нейрона
23	Общие свойства нейронных сетей
24	Отличие персептрана от сигмоидального нейрона
25	Свойства сигмоидальных функций
26	Различия между правилом обучения Хебба и Уидроу-Хоффа
27	Три отличительные черты многослойной персептронной сети
28	Причины применения двух внутренних слоев в персептронных сетях на практике
29	Причины применения двух внутренних слоев в персептронных сетях на практике
30	Преимущества и недостатки различных типов глобальных рекуррентных НС
31	Схема обработки сигналов в клеточной нейронной сети
32	Четыре класса клеточных нейронных сетей
33	Два типа локальных рекуррентных НС
34	Структуры динамических нейронов в локальных рекуррентных НС
35	Сеть Хопфилда на основе динамических нейронов
36	Структуры блочно-ориентированных локальных рекуррентных НС
37	Алгоритм обратного распространения ошибки
38	Структура радиально-базисной НС. Примеры радиально-базисных функций
39	Три типа радиально-базисных сетей согласно расположению и типу радиально-базисных функций
40	Структура вейвлет НС
41	Различие между функционально связанной сетью и полиномиальной персептронной сетью
42	Структура канонической кусочно-линейной НС. Формирование внутреннего слоя этой сети
43	Структура системы нечеткого логического вывода.
44	Слои ANFIS-сети. Отличие модели Такаги-Сугено от модели Мамдани-Заде.
45	Черты превосходства полиномиальных моделей над нейронными сетями. Черты превосходства нейронных сетей над полиномиальными моделями

Форма билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

Дисциплина «Нейронные сети для математического моделирования устройств
 и систем»

1. Операторный подход к моделированию НДС по соотношению вход-выход
2. Оценки точности аппроксимации нелинейного оператора НДС
3. Структура нейрона
4. Схема обработки сигналов в клеточной нейронной сети
5. Слои ANFIS-сети. Отличие модели Такаги-Сугено от модели Мамдани-Заде.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Е.Б. Соловьева

Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

Примерные темы заданий для коллоквиумов:

1. Изобразить и описать 3 структуры из представленного набора моделей НДС: полином Вольтерры; многомерная модель с расщепленными сигналами; регрессионные модели; модели нейронов (персепtron, сигмоидальный нейрон, нейрон типа ADALINE, Паде нейрон, квадратичный нейрон и Сигма-Пи нейрон, нейрон Хэба, стохастическая модель нейрона, нейрон типа «победитель забирает все»); многослойная персепtronная сеть.
2. Изобразить и описать 3 структуры моделей НДС из представленного набора нейронных сетей: полносвязная рекуррентная сеть; сеть Элмана; сеть Джордана; рекуррентная многослойная персепtronная сеть; рекуррентная сеть в пространстве состояний; клеточная нейронная сеть; три локальные рекуррентные сети с динамическими нейронами; блочно-ориентированные нейронные сети типа Гаммерштейна, Винера, Винера–Гаммерштейна; радиально-базисная нейронная сеть; вейвлет-нейронная сеть; функционально связанная сеть; полиномиальная персепtronная сеть; каноническая кусочно-линейная сеть; адап-

тивная сеть с системой нечеткого вывода.

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
1	Полиномиальные модели нелинейных динамических систем (НДС) Понятие нейронной сети (НС) Модели нейрона Многослойные нейронные сети. Классификация рекуррентных сетей	
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		Коллоквиум
9	Рекуррентные нейронные сети Алгоритм обратного распространения ошибки Структуры нейронных сетей для поведенческого моделирования НДС	
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		Коллоквиум

6.4 Методика текущего контроля

Текущий контроль на **лекционных занятиях** включает в себя контроль посещаемости (не менее 80 % занятий).

Текущий контроль на **лабораторных работах** включает в себя контроль посещаемости (не менее 80 % занятий), посещение и активное участие в двух коллоквиумах в семестре, по результатам которых студент получает допуск на экзамен.

Критерии оценки ответов на вопросы коллоквиумов:

оценка “зачтено” ставится, если ответы на вопросы коллоквиума правильные или частично правильные;

оценка “не зачтено” ставится, если ответы даны не на все или не даны на вопросы коллоквиума.

Контроль **самостоятельной работы студентов** осуществляется на лекционных и лабораторных занятиях студентов по методикам, описанным выше.

7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, маркерная или меловая доска	
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, маркерная или меловая доска. Аудитория оснащена компьютерной техникой.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше 3) MATLAB
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше 3) MATLAB

8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Изменение	Дата и номер протокола заседания УМК	Автор	Начальник ОМОЛА
1	15.06.2021	программа актуальна, изменения не требуются	15.06.2021, протокол № 9	д.т.н., доцент, Е.Б. Соловьева	