

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра цифровых технологий и машинного обучения

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



(подпись) И.С. Огнев

«23» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Адаптивная обработка сигналов»

Направление подготовки
11.03.01 Радиотехника

Направленность (профиль)
«Радиотехника»

Форма обучения
очная

Программа рассмотрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от «25» апреля 2023 года

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Адаптивная обработка сигналов» является подготовка в области основных принципов построения систем адаптивной цифровой обработки сигналов.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Данная дисциплина относится к части Блока 1, формируемой участниками образовательных отношений.

Она основывается на знаниях, полученных студентами при изучении дисциплин: «Математический анализ», «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Векторный и тензорный анализ», «Информационные технологии и программирование», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Основы цифровой обработки сигналов» и «Радиотехнические цепи и сигналы». Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины «Адаптивные системы», используются студентами при изучении дисциплин профессионального цикла «Цифровая обработка речевых сигналов», «Цифровая обработка изображений», «Беспроводные сети связи».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-1. Способен осуществлять сбор и обработку исходных данных для решения поставленных профессиональных задач в области радиотехники, осуществлять поиск, анализ и выбор методов их решения	ИД_ПК-1.2 Проводит анализ и обоснованный выбор методов решения профессиональных задач в области радиотехники	Знать: – Основные области применения адаптивной обработки сигналов. Уметь: – выбирать алгоритмы адаптивной обработки сигналов для решения профессиональных задач в области радиотехники. – подбирать гиперпараметры адаптивных алгоритмов с использованием средств компьютерного моделирования. Владеть навыками: – анализа адаптивных методов обработки сигналов в области радиотехники.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 академических часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1.	Основы адаптивных систем. Адаптивный линейный сумматор	6		6	8	1		5	Отчеты по лабораторным работам. Устный опрос. Отчеты по домашним работам.
2.	Адаптивные алгоритмы и структуры для задач цифровой обработки сигналов	6		7	12	2		6	Отчеты по лабораторным работам. Устный опрос. Отчеты по домашним работам.
3.	Применение адаптивной обработки сигналов	6		4	14	2		5	Отчеты по лабораторным работам. Устный опрос. Отчеты по домашним работам.
		6				2	0,5	33,5	Экзамен
	Всего			17	34	7	0,5	49,5	

Содержание разделов дисциплины:

Тема №1.

Основы адаптивных систем. Адаптивный линейный сумматор

Определения и свойства. Области применения. Адаптивная обработка с обратной связью и без обратной связи. Взаимосвязь адаптивной обработки сигналов и машинного обучения. Общее описание адаптивного линейного сумматора. Векторы входного сигнала и весовых коэффициентов. Полезный отклик и сигнал ошибки. Рабочая функция. Минимальная среднеквадратическая ошибка и градиент. Декорреляция сигнала ошибки и элементов входного сигнала.

Тема №2.

Адаптивные алгоритмы и структуры для задач цифровой обработки сигналов.

Поиск рабочей функции. Основные принципы методов градиентного поиска. Устойчивость и скорость сходимости. Градиентный поиск методом Ньютона. Метод Ньютона для многомерного пространства. Градиентный поиск методом наискорейшего спуска. Сравнение обучающих кривых.

Применение метода наименьших квадратов для поиска вектора весовых коэффициентов. Алгоритм последовательной регрессии. Алгоритмы адаптации для рекурсивных фильтров.

Тема №3.

Применение адаптивной обработки сигналов

Синтез цифровых КИХ-фильтров. Адаптивный синтез цифровых БИХ-фильтров. Адаптивное подавление помех. Адаптивные эквалайзеры беспроводных каналов связи. Подавление эхо-сигнала в телефонии.

Перечень лабораторных работ

1. Системное моделирование с использованием адаптивного нерекурсивного фильтра.
2. Подавление узкополосной помехи в широкополосном сигнале.
3. Адаптивный самонастраивающийся фильтр.
4. Адаптивный эквалайзер канала связи.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных знаний.

Лабораторное занятие – это проведение студентами по заданию преподавателя опытов с использованием приборов, инструментов и других технических приспособлений, то есть это изучение каких-либо явлений с помощью специального оборудования. Лабораторные занятия, являясь одной из форм учебных занятий, дают возможность наглядно сформировать представление об изучаемых явлениях и процессах, помогают овладеть техникой эксперимента, а также решать практические задачи путем постановки опыта.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

для выполнения лабораторных работ:

- Matlab.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Тараканов А.Н., Хрящев В.В., Приоров А.Л. Адаптивная цифровая обработка сигналов: Учеб. пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2001. 134 с. URL: <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20010738.pdf>
2. Брюханов Ю.А., Приоров А.Л., Джиган В.И., Хрящев В.В. Основы цифровой обработки сигналов: Учеб. пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2013. 344 с. <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20130703.pdf>

б) дополнительная литература

1. Брюханов Ю.А. Цифровые цепи и сигналы: Учеб. пособие. 2-е изд. Ярославль: ЯрГУ, 2005. 154 с. URL: <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20050703.pdf>
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебное пособие для вузов. М. Высшая школа, 2003. 462 с. http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=305228&cat_cd=YARSU

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в аудитории для проведения практических занятий должно быть больше либо равно списочному составу группы обучающихся.

Авторы:

Доцент кафедры
цифровых технологий и
машинного обучения, к.т.н.,

А.И. Топников

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Адаптивная обработка сигналов»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

Примерный список вопросов для проведения устных опросов:

1. Адаптивная система: понятие, свойства.
2. Общие свойства адаптивных систем (изменчивость во времени и нелинейность).
3. Адаптация с обратной связью и без обратной связи.
4. Адаптивный линейный сумматор: общее описание, векторы входного сигнала и весовых коэффициентов, полезный отклик и сигнал ошибки, функция стоимости.
5. Адаптивный линейный сумматор: рабочая функция.
6. Адаптивный линейный сумматор. Градиент функции СКО. Уравнение Винера-Хопфа
7. Адаптивный линейный сумматор: минимальная среднеквадратическая ошибка.
8. Основные принципы методов градиентного поиска (одномерный случай).
9. Методы градиентного поиска: устойчивость и скорость сходимости.
10. Градиентный поиск методом Ньютона.
11. Градиентный поиск методом наискорейшего спуска.
12. Метод наименьших квадратов в адаптивной обработке.
13. Алгоритм последовательной регрессии.
14. Алгоритм на основе метода наименьших квадратов для рекурсивного фильтра.
15. Алгоритм последовательной регрессии для рекурсивного фильтра.
16. Области применения адаптивных систем (приложения, решаемые задачи).
17. Области применения адаптивных систем: системная идентификация (моделирование).
18. Адаптивный самонастраивающийся фильтр (выделение узкополосного сигнала на фоне широкополосной помехи).
19. Области применения адаптивных систем: подавление узкополосной помехи в широкополосном сигнале.
20. Адаптивные эквалайзеры беспроводных каналов связи.
21. Подавление эхо-сигнала в телефонии.

Критерии оценивания ответов на вопросы

Критерий	Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (на «хорошо»)	Высокий уровень (на «отлично»)
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (<i>не относящееся к вопросу не подлежит проверке</i>)	Полное	Полное
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям

Содержание ответа	Понятийные вопросы изложены с классификациями, проблемные с постановкой проблемы и изложением различных точек зрения. Имеются ошибки или пробелы.	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Исчерпывающий полный ответ
--------------------------	---	--	----------------------------

Перечень лабораторных работ

1. Системное моделирование с использованием адаптивного нерекурсивного фильтра.
2. Подавление узкополосной помехи в широкополосном сигнале.
3. Адаптивный самонастраивающийся фильтр.
4. Адаптивный эквалайзер канала связи.

Критерии оценивания ответов на вопросы при защите лабораторной работы

Показатели	На «Зачтено»	На «Не зачтено»
Формулы	Корректные, применимые в условиях данной задачи, в стандартных обозначениях или обозначения раскрыты.	В базовых выражениях допущены ошибки.
Графики	Построенная зависимость имеет верный вид, по осям указаны аргумент и имя функции со своими единицами, есть шкалы на осях, нанесены контрольные метки, соответствующие заданию.	Вид зависимостей неверный.
Схемы	Представлен правильный набор элементов или блоков в стандартных обозначениях, правильно соединённых друг с другом, указаны их номиналы (если это возможно по имеющимся данным), указаны места соединения или шины.	Неверный набор элементов или неверное их соединение, в том числе неверная полярность включения.
Объяснения (ответы на смысловые вопросы)	Даны развёрнутые, корректные ответы на все вопросы, с отсылками к наименованиям и формулировкам законов, указанием методов, аргументация логичная.	Объяснение отсутствует.

Примеры домашних заданий:

Примеры вопросов для домашних работ приведены в разделе «12.22 Контрольные вопросы» (стр. 337-341) следующего издания:

Брюханов Ю.А., Приоров А.Л., Джиган В.И., Хрящев В.В. Основы цифровой обработки сигналов: Учеб. пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2013. 344 с.

<http://www.lib.uniyl.ac.ru/edocs/iuni/20130703.pdf>

Критерии оценивания домашних заданий

Показатели	Критерии
Ответ	Верный, с правильными единицами измерения (для размерных величин).
Формулы	Корректные, применимые в условиях данной задачи, в стандартных обозначениях или обозначения раскрыты.
Решение	Имеются приводящие к ответу выкладки.
Графики	Построенная зависимость имеет верный вид, по осям указаны аргумент и имя функции со своими единицами, есть шкалы на осях, нанесены контрольные метки, соответствующие заданию.
Схемы	Представлен правильный набор элементов или блоков в стандартных обозначениях, правильно соединённых друг с другом.
Объяснения (ответы на смысловые вопросы)	Даны развёрнутые, корректные ответы на все вопросы, с отсылками к наименованиям и формулировкам законов, указанием методов, аргументация логичная.

Шкала оценивания:

- 0 баллов – полное отсутствие критерия;
- 1 балл – частичное выполнение критерия;
- 2 балла – полное выполнение критерия

Суммируются баллы за каждое задание.

Оценка проставляется по количеству набранных баллов:

- менее 50% от максимально возможного количества баллов – неудовлетворительно,
- 50-75% от максимально возможного количества баллов – удовлетворительно,
- 76-85% от максимально возможного количества баллов – хорошо,
- 86-100% от максимально возможного количества баллов – отлично.

2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов к экзамену:

1. Адаптивная система: понятие, свойства.
2. Общие свойства адаптивных систем (изменчивость во времени и нелинейность).
3. Адаптация с обратной связью и без обратной связи.
4. Адаптивный линейный сумматор: общее описание, векторы входного сигнала и весовых коэффициентов, полезный отклик и сигнал ошибки, функция стоимости.
5. Адаптивный линейный сумматор: рабочая функция.
6. Адаптивный линейный сумматор. Градиент функции СКО. Уравнение Винера-Хопфа
7. Адаптивный линейный сумматор: минимальная среднеквадратическая ошибка.
8. Основные принципы методов градиентного поиска (одномерный случай).
9. Методы градиентного поиска: устойчивость и скорость сходимости.
10. Градиентный поиск методом Ньютона.
11. Градиентный поиск методом наискорейшего спуска.
12. Метод наименьших квадратов в адаптивной обработке.
13. Алгоритм последовательной регрессии.
14. Алгоритм на основе метода наименьших квадратов для рекурсивного фильтра.
15. Алгоритм последовательной регрессии для рекурсивного фильтра.
16. Области применения адаптивных систем (приложения, решаемые задачи).

17. Области применения адаптивных систем: системная идентификация (моделирование).
18. Адаптивный самонастраивающийся фильтр (выделение узкополосного сигнала на фоне широкополосной помехи).
19. Области применения адаптивных систем: подавление узкополосной помехи в широкополосном сигнале.
20. Адаптивные эквалайзеры беспроводных каналов связи.
21. Подавление эхо-сигнала в телефонии.

Критерии оценивания ответов на вопросы

Критерий	Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (на «хорошо»)	Высокий уровень (на «отлично»)
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (<i>не относящееся к вопросу не подлежит проверке</i>)	Полное	Полное
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Содержание ответа	Понятийные вопросы изложены с классификациями, проблемные с постановкой проблемы и изложением различных точек зрения. Имеются ошибки или пробелы.	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Исчерпывающий полный ответ

3. Описание процедуры выставления оценки

В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса. На подготовку к ответу дается не менее 40 минут.

По итогам экзамена выставляется одна из оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Оценка «Отлично» выставляется студенту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Студент дает развернутые, полные и четкие ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует терминологию.

Оценка «Хорошо» выставляется студенту, ответ которого на экзамене в целом соответствует указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим студентом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

Оценка «Удовлетворительно» выставляется студенту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагаются в научных терминах, но при этом допускаются ошибки в определении и раскрытии

некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется также студенту, который взял экзаменационный билет, но отвечать отказался.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Адаптивная обработка сигналов»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Освоить вопросы дисциплины «Адаптивная обработка сигналов» самостоятельно студенту достаточно сложно. Посещение всех предусмотренных занятий является совершенно необходимым. Особое внимание стоит уделить самостоятельной работе, в том числе, для подготовки к выполнению и сдаче лабораторных работ.

Основной формой занятий по дисциплине «Адаптивная обработка сигналов» являются практические занятия и лабораторные работы.

Для успешного освоения дисциплины обязательно выполнение всех домашних заданий, они являются формой текущей аттестации. В качестве заданий для самостоятельной работы дома предлагаются задания, аналогичные разобранным на практических занятиях или немного более сложные, которые являются результатом объединения нескольких базовых заданий. Некоторые задания относятся к категории заданий повышенной сложности, они подразумевают применение вычислительной техники с математическими пакетами, например, Matlab, или их бесплатных, свободно распространяемых аналогов, например, Octave.

Для успешного выполнения лабораторных работ необходимо своевременно осуществлять самостоятельную подготовку, включающую в себя в том числе и материал из дисциплин, освоенных в предыдущих семестрах. При выполнении лабораторных работ в аудитории стоит особое внимание уделять советам и рекомендациям преподавателя. Для успешного выполнения лабораторных работ рекомендуется анализировать получаемые результаты в процессе их получения. После выполнения работы рекомендуется проверить, полностью ли выполнена вся работа, сохранены ли все ее результаты. При необходимости можно обратиться за помощью к преподавателю. Перед сдачей лабораторных работ необходимо изучить (повторить) всю необходимую теорию, проанализировать результаты работы.