ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДЕНА

Решением Ученого совета
АНО ВО «Центральный университет»
«24» июня 2025 г.
Протокол №2

Рабочая программа дисциплины (модуля)
«Статистическая теория обучения»

Направление подготовки: *02.03.01 Математика и компьютерные науки*

Направленность (профиль) подготовки: *Математика и компьютерные науки*

Квалификация (степень) выпускника: *бакалавр*

Форма обучения: *очная*

Срок освоения программы: *4 года*

Год набора: *2025*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 0215B0C000D1B3FEB44A37EE631E0C27D4
Владелец: Ивашкевич Евгений Васильевич
Действителен: с 13.01.2026 до 13.04.2027

Электронный документ

Москва
2025

Содержание

1. **Краткая характеристика дисциплины (модуля)** 3
2. **Перечень планируемых результатов обучения** 5
3. **Тематический план** 7
4. **Содержание дисциплины (модуля)** 8
5. **Учебно-методическое обеспечение** 9
6. **Материально-техническое обеспечение** 9
7. **Методические и оценочные материалы** 11

1. Краткая характеристика дисциплины (модуля)

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Статистическая теория обучения» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – бакалавриат по специальности 02.03.01 Математика и компьютерные науки, профиль Математика и компьютерные науки, утвержденный приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 807 от 23.08.2017 года.

Изучение дисциплины (модуля) «Статистическая теория обучения» интегрирует математические методы вероятности и статистики с алгоритмами компьютерного анализа данных, обеспечивая теоретическую базу для создания надежных и интерпретируемых моделей машинного обучения. Эта дисциплина способствует развитию навыков критического мышления и инновационных подходов к решению задач в области искусственного интеллекта, анализа больших данных и оптимизации, что востребовано в современных технологиях, таких как глубокое обучение и автоматизированные системы.

Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина (модуль) включена в учебный план по программе подготовки бакалавриата по направлению 02.03.01 Математика и компьютерные науки, профиль Математика и компьютерные науки и входит в вариативную часть Блока 1, формируемую участниками образовательных отношений.

Дисциплина (модуль) является выборной и доступна для изучения на 3 или 4 курсе в 6, 7, 8 семестрах на выбор.

Цель изучения дисциплины (модуля): формирование у студентов глубокого понимания теоретических основ машинного обучения, включая анализ обобщающей способности алгоритмов и их эффективности в задачах классификации и регрессии, для подготовки специалистов в области математики и компьютерных наук, способных разрабатывать и оптимизировать методы обработки больших данных.

Задачи изучения дисциплины (модуля):

— изучить фундаментальные концепции статистической теории обучения, такие как PAC-обучение, VC-размерность и принципы регуляризации, для понимания механизмов обобщения моделей на новых данных;

— осваить методы анализа состоятельности и эффективности алгоритмов, включая эмпирические процессы и неравенства концентрации, применяя их к задачам классификации, регрессии и кластеризации в высокомерных пространствах;

— практически применять теоретические знания для оценки рисков переобучения и разработки устойчивых алгоритмов, а также подготовку к самостоятельному исследованию в области статистического обучения и его интеграции с компьютерными методами;

— развить навыков математического моделирования и программирования для реализации и верификации теоретических результатов в программном обеспечении.

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен:

знать:

— основные модели онлайн-обучения (mistake bound, expert advice), ключевые алгоритмы (Halving, Weighted Majority, Perceptron, Kernel Perceptron) и их теоретические гарантии;

— основы статистической теории обучения: необходимость классов гипотез, реализуемая модель, VC-размерность, Фундаментальную теорему (PAC-обучение);

— современные меры сложности класса гипотез: Радемахеровскую сложность и связанные с ней техники (симметризация, сжатие), неравенство ограниченных разностей;

— теорию маржинальных методов обобщения, связь между маржой и обобщающей способностью;

— основы теории ядер (RKHS, теорема представления) и современные концепции обучения нейросетей (невыпуклость, NTK, lazy training, стабильность градиентов);

уметь:

— применять и анализировать алгоритмы онлайн-обучения для простых задач;

— рассчитывать VC-размерность для простых классов гипотез (интервалы, прямоугольники) и использовать её для оценки достаточного размера выборки в реализуемой модели;

— использовать Радемахеровскую сложность для получения общих границ обобщения;

— выводить и интерпретировать границы риска, основанные на марже, для алгоритмов вроде SVM и AdaBoost;

— применять концепции ядер (Kernel Trick) на практике и понимать их теоретические основы (RKHS);

владеть:

— навыками теоретического анализа свойств алгоритмов обучения (сходимость, границы ошибок) в разных моделях (онлайн, батч);

— методологией оценки сложности класса гипотез и вывода гарантий обобщения с использованием VC-размерности и Радемахеровской сложности;

— техникой декомпозиции ожидаемого риска (на ошибку аппроксимации и ошибку оценки) и анализа вклада каждой компоненты;

— анализом влияния регуляризации (включая неявную через маржу или dropout) на обобщающую способность моделей;

— пониманием современных теоретических подходов к анализу обучения глубоких нейронных сетей (невыпуклость, NTK, динамика градиентного спуска).

2. Перечень планируемых результатов обучения

Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) при проведении учебных занятий в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками Университета и в форме самостоятельной работы обучающихся:

Компетенция	Содержание компетенции	Индикатор компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1.	Знает методы поиска и анализа информации в области профессиональной деятельности, основные принципы критической оценки источников информации и их релевантности.
		УК-1.2.	Умеет критически оценивать источники информации и синтезировать данные из различных источников для решения задач, применять системный подход к анализу и решению комплексных проблем
		УК-1.3.	Имеет практический опыт работы с современными инструментами и технологиями для обработки информации, формулировании и структурировании задач на основе полученной информации
УК-2.	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1.	Знает действующие правовые нормы, регулирующие деятельность в области решения задач, основные методы и подходы к определению круга задач
		УК-2.2.	Умеет определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения задач, учитывая имеющиеся ресурсы и ограничения
		УК-2.3.	Имеет практический опыт применения знаний о правовых нормах и ресурсах в реальных ситуациях, разработки и реализации решений в соответствии с установленными ограничениями
ОПК-1.	Способен находить, формулировать и решать актуальные и значимые проблемы прикладной и компьютерной математики	ОПК-1.1.	Знает основные методы и подходы к решению задач прикладной и компьютерной математики, включая алгоритмы, математическое моделирование и теорию оптимизации, а также современные инструменты и технологии, используемые в этой области
		ОПК-1.2.	Умеет анализировать и формулировать математические задачи, применять соответствующие методы и алгоритмы для их решения, а также интерпретировать и

			представлять результаты в понятной и доступной форме
		ОПК-1.3.	Имеет практический опыт работы над проектами или исследованиями в области прикладной и компьютерной математики, включая участие в конкурсах, олимпиадах или научных публикациях, где были решены актуальные и значимые задачи
ПК-1.	Способен определять общие формы и закономерности области машинного обучения	ПК-1.1.	Знает основные теоретические концепции и принципы, относящиеся к области машинного обучения, а также ключевые закономерности и модели, которые помогают в анализе и интерпретации данных
		ПК-1.2.	Умеет проводить систематический анализ области разработки, выявлять и формулировать общие закономерности и тенденции, а также применять методы исследования для получения новых знаний и понимания
		ПК-1.3.	Имеет практический опыт работы в области машинного обучения, включая участие в научных проектах, исследованиях или практических заданиях, где были выявлены и описаны общие формы и закономерности
ПК-2.	Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности в области профессиональной деятельности, опираясь на информационную и библиографическую культуру, используя информационно-коммуникационные технологии и учитывая основные требования информационной безопасности	ПК-2.1.	Знает основы информационной и библиографической культуры, а также принципы информационной безопасности и применения информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности
		ПК-2.2.	Умеет эффективно использовать информационно-коммуникационные технологии для решения стандартных задач профессиональной деятельности, учитывая требования информационной безопасности
		ПК-2.3.	Имеет опыт работы с информационными ресурсами и технологиями в области профессиональной деятельности, включая соблюдение норм информационной безопасности

3. Тематический план

№п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Трудоемкость, академические часы				ТКУ (текущий контроль успеваемости)
		Очная форма				
		Контактная работа		Контроль	Самостоятельная работа	
		Лекции	Семинары			
1	Основы онлайн-обучения	2	4		10	Домашнее задание Подготовка к семинару
2	Теория PAC-обучения	4	8		12	Домашнее задание
3	Радемахеровская сложность	4	8		12	Домашнее задание Контрольная работа
4	Маржинальные методы	4	8	2	12	Домашнее задание Контрольная работа
5	Ядра и RKHS	4	8		12	Домашнее задание Подготовка к семинару
6	Бустинг	4	8		12	Подготовка к семинару
7	Нейросети и NTK	4	8		12	Домашнее задание Контрольная работа
8	Современные аспекты	4	8		12	Домашнее задание Контрольная работа
	Зачет с оценкой			4		
	Итого:	***30***	***60***	***6***	***94***	
Объем дисциплины (модуля) (в ак. ч.)		***190***				
Объем дисциплины (модуля) (в зач. ед.)		***5***				

4. Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Содержание дисциплины (модуля) по темам
1	Основы онлайн-обучения	– Модель mistake-bound. Алгоритмы Halving и Weighted Majority. – Доказательство границ ошибок. Практика: реализация на Python. – Экспертные советы (Expert Advice). Алгоритм Hedge. – Решение задач прогнозирования с экспертами. – Перцептрон и его сходимость. – Ядерный перцептрон (Kernel Trick). Примеры в Scikit-learn.
2	Теория PAC-обучения	– Реализуемая и нереализуемая модели. – VC-размерность: определение и примеры (интервалы, прямоугольники). – Фундаментальная теорема PAC-обучения. – Оценка достаточного размера выборки. – Равномерные неравенства (Гливенко-Кантелли). – Практика: оценка VC-размерности для линейных классификаторов.
3	Радемахеровская сложность	– Определение и свойства. Симметризация. – Связь с обобщающей способностью. – Неравенство ограниченных разностей. – Применение к нейросетям (оценка сложности). – Техники сжатия данных. – Примеры: алгоритмы сжатия для линейных моделей.
4	Маржинальные методы	– Теория маржи для SVM. – Границы обобщения через маржу. Практика: сравнение SVM и логистической регрессии.
5	Ядра и RKHS	– Теорема представления. Ядерный трюк. – Популярные ядра (RBF, полиномиальное).
6	Бустинг	– AdaBoost: алгоритм и границы ошибок. – Практика: реализация бустинга на деревьях.
7	Нейросети и NTK	– Невыпуклость и lazy-режим. – Ядерная теория для нейросетей (NTK).
8	Современные аспекты	– Теория маржи для SVM. – Границы обобщения через маржу. Практика: сравнение SVM и логистической регрессии.
15	Заключение и подготовка к итоговой аттестации	– Dropout и регуляризация. – Стабильность градиентного спуска.

5. Учебно-методическое обеспечение

Университет располагает полным набором лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, включая продукты отечественного производства.

Каждый студент в течение всего периода обучения получает индивидуальный неограниченный доступ к электронно-библиотечной системе и электронной информационно-образовательной среде университета. Эти системы предоставляют возможность доступа к ресурсам из любой точки, где есть подключение к сети Интернет, как на территории университета, так и за его пределами.

Студентам обеспечен удаленный доступ к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

Основная литература:

1. Осокин, А. Н. Теория информации : учебник для вузов / А. Н. Осокин, А. Н. Мальчуков. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 208 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-16333-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/561389.

2. Энатская, Н. Ю. Математическая статистика и случайные процессы : учебник для вузов / Н. Ю. Энатская. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 191 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-9808-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/561150.

3. Кремер, Н. Ш. Математическая статистика : учебник и практикум для вузов / Н. Ш. Кремер. — 5-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 259 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01654-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/561039.

4. Терсенов, А. С. Лекции по прикладному функциональному анализу : учебник для вузов / А. С. Терсенов. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 83 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-18812-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/568927.

5. Пантелеев, А. В. Численные методы. Практикум : учебное пособие / А. В. Пантелеев, И. А. Кудрявцева. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 512 с. — (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-018445-6. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/2002583.

Дополнительная литература:

1. Грэхем Р., Кнут Д., Паташник О. Конкретная математика. Математические основы информатики. — М. : Вильямс, 2009. — 784 с.

2. Локтионов, И. К. Численные методы : учебник / И. К. Локтионов, Л. П. Мироненко, В. В. Турупалов ; под общ. ред. канд. техн. наук, проф. В. В. Турупалова. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. - 380 с. - ISBN 978-5-9729-0786-1. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1902598.

6. Материально-техническое обеспечение

Университет располагает материально-технической базой, соответствующей действующим противопожарным правилам и нормам и обеспечивающей проведение всех видов дисциплинарной и междисциплинарной подготовки, практической и научно-исследовательской работ обучающихся, предусмотренных учебным планом.

Помещения, которые представляют собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского (практического) типа, групповых и

индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Изучение дисциплины (модуля) обеспечивается в учебных аудиториях, оснащенных:

— столами и стульями;
— компьютерной техникой;
— механическими калькуляторами;
— специализированным оборудованием, включая демонстрационное оборудование.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, в том числе приспособленные для использования инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья, оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Обучающимся предоставляется доступ (в том числе удаленный) к ресурсам информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», электронным ресурсам (в том числе электронным библиотечным системам, современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам):

№	Наименование портала (издания, курса, документа)	Ссылка
1.	Научная электронная библиотека elibrary.ru библиотека	https://elibrary.ru/defaultx.asp
2.	База данных для IT-специалистов	https://habr.com
3.	База данных ScienceDirect	https://www.sciencedirect.com
4.	Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации	https://minobrnauki.gov.ru/
5.	Федеральный портал «Российское образование"	https://www.edu.ru/
6.	Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"	http://window.edu.ru/
7.	Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов	http://school-collection.edu.ru/
8.	Федеральный центр информационно - образовательных ресурсов	http://fcior.edu.ru/

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модуле), в том числе комплект лицензионного программного обеспечения, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Наименование ПО	Производство	Лицензионное / свободно распространяемое
Операционные системы:		
Microsoft Imagine (Windows Client, Server)	зарубежное	лицензионное
Браузеры:		
Яндекс.Браузер	отечественное	свободно распространяемое
Google Chrome	зарубежное	свободно распространяемое
Офисные приложения:		
Microsoft Imagine (Visio, OneNote)	зарубежное	лицензионное
TeXstudio	зарубежное	свободно распространяемое
Adobe Acrobat Reader	зарубежное	свободно распространяемое
Программное обеспечение для планирования и учета времени:		

Toggle app	зарубежное	свободно распространяемое
Системы управления проектами:		
Microsoft Imagine (Project)	зарубежное	лицензионное
Системы управления базами данных:		
Microsoft Imagine (SQL Server)	зарубежное	лицензионное
Системы резервного копирования (backup):		
Acronis Backup Advanced for HyperV	зарубежное	лицензионное
Справочно-правовые системы:		
КонсультантПлюс: справочно-правовая система	отечественное	лицензионное
Средства антивирусной защиты:		
Kaspersky Endpoint Security для бизнеса Стандартный Russian Edition	отечественное	лицензионное
Среды разработки:		
Visual Studio Code	зарубежное	свободно распространяемое
Bash (Unix shell)	зарубежное	свободно распространяемое
Anaconda	зарубежное	свободно распространяемое
Robotic Operating System	зарубежное	свободно распространяемое
CopelliaSim	зарубежное	свободно распространяемое
Google Colaboratory	зарубежное	свободно распространяемое
Пакеты программных средств и библиотек:		
AutoPsy	зарубежное	свободно распространяемое
Interactive Disassembler (IDA)	зарубежное	свободно распространяемое
Системы управления библиографической информацией:		
Zotero	зарубежное	свободно распространяемое
Сервисы и службы:		
Bind	зарубежное	свободно распространяемое
Docker	зарубежное	свободно распространяемое

7. Методические и оценочные материалы

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

В процессе изучения дисциплины (модуля) «Статистическая теория обучения» в рамках текущего контроля успеваемости используются такие виды учебной работы, как лекция, семинары, контрольные работы и домашние задания, а также различные виды самостоятельной работы обучающихся по заданию преподавателя, направленные на развитие навыков профессиональной лексики, закрепление практических профессиональных компетенций, поощрение инициатив.

Лекция – систематическое, последовательное, монологическое изложение преподавателем учебного материала, как правило, теоретического характера.

В процессе лекций рекомендуется вести конспект лекций: кратко и схематично фиксировать основные идеи, выводы и обобщения лекции; выделять важные мысли, ключевые слова и термины. Необходимо отметить вопросы или материалы, которые вызывают затруднения, и попытаться найти ответы в рекомендованной литературе. Если разобраться в материале не удается, следует сформулировать вопрос и задать его преподавателю на консультации или во время семинарского (практического) занятия.

Семинар — это форма учебной деятельности, проводимая в учебном заведении под руководством преподавателя, где студенты активно участвуют в обсуждениях, практических заданиях и других формах взаимодействия.

Для успешной подготовки к семинару рекомендуется заранее ознакомиться с темой занятия и основными материалами, чтобы иметь возможность активно участвовать в

обсуждении. Также полезно подготовить вопросы и идеи для обсуждения, что поможет глубже понять материал и продемонстрировать заинтересованность.

Аудиторная работа – активная работа студента на семинаре, его ответы на вопросы преподавателя и участие в дискуссии.

Для успешного участия в семинаре студентам рекомендуется заранее ознакомиться с темой обсуждения, прочитать необходимые материалы и подготовить вопросы. Важно активно слушать и вовлекаться в дискуссию, высказывая свои мнения и аргументируя их. При ответах на вопросы преподавателя стоит быть уверенным, четким и логичным, опираясь на изученный материал. Также полезно поддерживать диалог с однокурсниками, чтобы обогатить обсуждение и расширить свои знания.

Домашнее задание – набор задач по темам недели.

При работе над домашними заданиями важно внимательно ознакомиться с требованиями и сроками выполнения. Рекомендуется разбивать задания на этапы, чтобы избежать перегрузки и лучше усвоить материал. Использовать различные источники информации, включая учебники и онлайн-ресурсы, для более глубокого понимания темы.

Контрольная работа – письменная работа с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время.

Цель контрольной работы - получить специальные знания по одной или нескольким темам дисциплины (модуля) и продемонстрировать навыки их практического применения.

Самостоятельная работа – работа студентов, направленная на углубленное изучение отдельных тем и вопросов учебной дисциплины (модуля).

В процессе самостоятельной работы студенты взаимодействуют с рекомендованными материалами при минимальном участии преподавателя. Задачи студента включают работу с конспектами лекций (обработка текста), повторное изучение учебных материалов планов и тезисов ответов, изучение дополнительных тем, выполнение учебно-исследовательских заданий и другое.

Система оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

Критерии получения уровня и оценивания сформированности компетенций по дисциплине (модуле) «Статистическая теория обучения»

Оценивание уровня учебных достижений, обучающихся по дисциплине (модулю), осуществляется в виде текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) осуществляется в форме ***зачета с оценкой***, при этом проводится оценка компетенций, сформированных по дисциплине.

Для оценивания текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации используется десятибалльная шкала оценивания, которая соотносится с традиционной пятибалльной шкалой следующим образом:

Десятибалльная оценка	Пятибалльная оценка	Оценка за зачет	Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)
10	Отлично	Зачтено	Студент полностью владеет знаниями, изложенными в рабочей программе, и глубоко осмысляет дисциплину. Он самостоятельно и логически последовательно отвечает на все вопросы,
9	Отлично	Зачтено	
8	Отлично	Зачтено	

Десятибалльная оценка	Пятибалльная оценка	Оценка за зачет	Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)
			акцентируя внимание на наиболее важном. Умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделяя ключевые моменты и устанавливая причинно-следственные связи. Четко формулирует ответы, уверенно интерпретирует результаты анализов и других исследований, а также решает сложные задачи. Студент хорошо знаком с методами исследования, необходимыми для практической деятельности, и умеет связывать теоретические аспекты дисциплины (модуля) с практическими задачами.
7	Хорошо	Зачтено	Студент обладает знаниями предмета почти в полном объеме рабочей программы и самостоятельно, логически последовательно и всесторонне отвечает на все вопросы, акцентируя внимание на наиболее значимых моментах. Он умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделяя его ключевые аспекты и устанавливая причинно-следственные связи. Формулирует свои ответы, уверенно интерпретирует результаты анализов и других исследований, а также решает сложные ситуационные задачи. Студент хорошо знаком с методами исследования, необходимыми для практической деятельности, и умеет связывать теоретические аспекты предмета с практическими задачами.
6	Хорошо	Зачтено	
5	Удовлетворительно	Зачтено	Студент обладает базовыми знаниями по дисциплине (модулю), но испытывает трудности при самостоятельных ответах и использует неточные формулировки. В ходе ответов он допускает ошибки, касающиеся сути вопросов. Студент способен решать только самые простые задачи и владеет лишь минимальным набором методов исследования.
4	Удовлетворительно	Зачтено	
3	Не сдан	Не зачтено	Студент не овладел обязательным

Десятибалльная оценка	Пятибалльная оценка	Оценка за зачет	Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)
2	Не сдан	Не зачтено	минимумом знаний по предмету и не может ответить на вопросы, даже если преподаватель задает дополнительные наводящие вопросы.
1	Не сдан	Не зачтено	

Дисциплина (модуль) «Статистическая теория обучения» оценивается следующим образом:

Активность	Вес	Количество	Описание
Домашние задания	20%	13	Набор задач по темам недели
Контрольные работы	30%	2	Письменная работа с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время
Аудиторная работа	15%	1	Ответы на вопросы, список которых известен студенту заранее
Зачет с оценкой	35%	1	Письменная работа с набором задач, которые нужно решить за ограниченное время, возможен дополнительный устный экзамен

Формула расчёта итоговой оценки по дисциплине (модуле) «Статистическая теория обучения»: «0,2× среднее за домашние задания + 0,3× среднее за контрольные работы + 0,15 ×за аудиторную работу + 0,35 ×зачет с оценкой».

Текущий контроль успеваемости обучающихся по дисциплине (модуле)

Примерные вопросы для семинаров

Основы онлайн-обучения

1. Что такое модель mistake-bound в онлайн-обучении и как она отличается от традиционных моделей обучения?
2. Опишите алгоритм Halving и объясните, как он работает в задаче бинарной классификации.
3. Как алгоритм Weighted Majority использует веса экспертов для принятия решений?
4. Докажите верхнюю границу на число ошибок для алгоритма Halving в худшем случае.
5. Как доказывается граница ошибок для алгоритма Weighted Majority?
6. Что такое экспертные советы (Expert Advice) и как они моделируются в онлайн-обучении?
7. Опишите алгоритм Hedge и его параметры, влияющие на производительность.
8. Как алгоритм Hedge адаптируется к изменяющимся весам экспертов?
9. Что такое задача прогнозирования с экспертами и как она решается с помощью онлайн-алгоритмов?
10. Объясните сходимость перцептрона в онлайн-обучении и условия его гарантированной работы.
11. Как работает ядерный перцептрон и в чем суть ядерного трюка?
12. Приведите пример реализации перцептрона на Python с использованием Scikit-learn.

13. Как ядерный трюк применяется для нелинейных классификаторов в онлайн-обучении?
14. Сравните производительность алгоритмов Halving, Weighted Majority и Hedge на синтетических данных.
15. Какие практические ограничения существуют при реализации онлайн-алгоритмов в реальных приложениях?

Теория PAC-обучения

1. Что такое реализуемая модель в теории PAC-обучения и как она отличается от нереализуемой?
2. Определите VC-размерность и приведите примеры для интервалов на прямой.
3. Как вычислить VC-размерность для прямоугольников в двумерном пространстве?
4. Сформулируйте фундаментальную теорему PAC-обучения и объясните её компоненты.
5. Как оценить достаточный размер выборки для достижения заданной точности в PAC-обучении?
6. Что такое равномерные неравенства и как они связаны с теоремой Гливенко-Кантелли?
7. Приведите пример нереализуемой модели и объясните, почему она такова.
8. Как VC-размерность влияет на сложность гипотезного класса?
9. Докажите, что VC-размерность для линейных классификаторов в R^d равна d+1.
10. Что такое ε-неточная гипотеза в контексте PAC-обучения?
11. Как применить теорему PAC для оценки обобщающей способности алгоритма?
12. Опишите процесс вычисления VC-размерности для полиномиальных классификаторов.
13. В чем разница между PAC-обучением и традиционной статистической оценкой?
14. Приведите практический пример оценки VC-размерности для линейных моделей с помощью кода.
15. Как теория PAC-обучения применяется в задачах машинного обучения с большими данными?

Радемахеровская сложность

1. Что такое радемажеровская сложность и как она определяется для класса функций?
2. Объясните процесс симметризации в контексте радемажеровской сложности.
3. Как радемажеровская сложность связана с обобщающей способностью модели?
4. Сформулируйте неравенство ограниченных разностей и его применение.
5. Как оценить радемажеровскую сложность для линейных функций?
6. Что такое техники сжатия данных и как они используются в анализе сложности?
7. Приведите пример алгоритма сжатия для линейных моделей.
8. Как радемажеровская сложность применяется к оценке сложности нейросетей?
9. Объясните свойства радемажеровской сложности (конвексность, субаддитивность).
10. Как вычислить верхнюю границу радемажеровской сложности для класса выпуклых функций?
11. В чем разница между радемажеровской и VC-размерностью?

12. Приведите пример, где радемажеровская сложность дает более точную оценку, чем VC-размерность.
13. Как техники сжатия помогают в практической оценке обобщающей способности?
14. Опишите применение радемажеровской сложности к глубоким нейросетям.
15. Какие ограничения существуют при использовании радемажеровской сложности для сложных моделей?

Маржинальные методы

1. Что такое теория маржи в контексте SVM и как она влияет на обобщающую способность?
2. Как границы обобщения зависят от ширины маржи в SVM?
3. Сравните SVM и логистическую регрессию по их подходу к марже.
4. Как вычислить маржу для заданного классификатора?
5. Что такое мягкая маржа в SVM и когда она применяется?
6. Объясните роль ядер в маржинальных методах для SVM.
7. Как границы обобщения для маржинальных методов доказываются?
8. Приведите пример, где SVM с широкой маржой превосходит логистическую регрессию.
9. Что такое потеря hinge в SVM и как она связана с маржой?
10. Как оптимизировать маржу в задаче многоклассовой классификации?
11. Опишите практическую реализацию сравнения SVM и логистической регрессии на датасете.
12. В чем преимущества маржинальных методов для высокоразмерных данных?
13. Как маржа влияет на устойчивость модели к шуму в данных?
14. Приведите формулу для границы обобщения через маржу для линейных SVM.
15. Какие модификации маржинальных методов используются в современных алгоритмах?

Ядра и RKHS

1. Что такое теорема представления в контексте ядер и RKHS?
2. Объясните ядерный трюк и его роль в нелинейном обучении.
3. Какие свойства должны удовлетворять функции ядер?
4. Опишите RBF-ядро и его параметры.
5. Как работает полиномиальное ядро и когда оно применяется?
6. Что такое RKHS (воспроизводящее ядро Гильбертово пространство) и как оно строится?
7. Приведите пример применения ядерного трюка к линейной регрессии.
8. Как вычислить грам-матрицу для заданного ядра?
9. В чем разница между положительно определенными и условно положительно определенными ядрами?
10. Объясните, как ядра позволяют решать задачи в высокомерных пространствах без явного отображения.
11. Как оптимизировать параметры RBF-ядра для лучшей производительности?
12. Приведите примеры популярных ядер помимо RBF и полиномиального.

13. Как RKHS используется в задачах регрессии с ядрами?
14. Что такое ядерные методы в задачах кластеризации?
15. Какие ограничения существуют при использовании ядер в больших наборах данных?

Бустинг

1. Опишите алгоритм AdaBoost и его основные шаги.
2. Как AdaBoost строит ансамбль слабых классификаторов?
3. Докажите границы ошибок для AdaBoost в терминах экспоненциальной потери.
4. Что такое слабый ученик в контексте AdaBoost?
5. Как AdaBoost адаптирует веса примеров на каждой итерации?
6. Приведите пример реализации AdaBoost на деревьях решений в Python.
7. В чем разница между AdaBoost и другими методами ансамблирования?
8. Как оценить производительность AdaBoost на несбалансированных данных?
9. Объясните роль экспоненциальной потери в AdaBoost.
10. Что такое переобучение в бустинге и как его избежать?
11. Как AdaBoost применяется к задачам регрессии?
12. Приведите практический пример сравнения AdaBoost с другими алгоритмами на датасете.
13. Как границы ошибок AdaBoost связаны с VC-размерностью?
14. Что такое градиентный бустинг и как он отличается от AdaBoost?
15. Какие модификации AdaBoost используются в современных библиотеках машинного обучения?

Нейросети и NTK

1. Что такое невыпуклость в оптимизации нейросетей и как она влияет на обучение?
2. Объясните концепцию lazy-режима в нейросетях.
3. Что такое ядерная теория нейросетей (NTK) и как она моделирует обучение?
4. Как NTK аппроксимирует поведение нейросети в бесконечной ширине?
5. В чем разница между традиционным обучением нейросетей и NTK-подходом?
6. Как невыпуклость приводит к проблемам в градиентном спуске?
7. Опишите, как NTK используется для анализа сходимости нейросетей.
8. Приведите пример, где lazy-режим упрощает анализ нейросети.
9. Как NTK связан с гауссовскими процессами?
10. Что такое бесконечная ширина в NTK и её implications?
11. Как невыпуклость влияет на ландшафт потерь в глубоких сетях?
12. Объясните, как NTK помогает в теоретическом анализе глубокого обучения.
13. Приведите практический пример применения NTK к простой нейросети.
14. В чем преимущества NTK для понимания обобщающей способности?
15. Какие ограничения существуют в применении NTK к реальным архитектурам?

Современные аспекты

1. Что такое теория маржи для SVM в современных контекстах?
2. Как границы обобщения через маржу применяются к глубоким моделям?
3. Сравните SVM и логистическую регрессию по их границам обобщения.
4. Как маржа влияет на устойчивость к adversarial примерам?
5. Опишите практическую реализацию сравнения SVM и логистической регрессии на реальном датасете.
6. Что такое маржинальные методы в контексте больших данных?
7. Как границы обобщения для маржи доказываются в современных теориях?
8. Приведите пример, где маржинальные методы превосходят другие подходы.
9. Что такое мягкая маржа и её роль в регуляризации?
10. Как оптимизировать маржу для многоклассовых задач?
11. В чем преимущества маржинальных методов для интерпретируемости?
12. Как маржа связана с понятием robustness в машинном обучении?
13. Приведите формулу для современной границы обобщения через маржу.
14. Как маржинальные методы интегрируются с нейросетями?
15. Какие вызовы возникают при применении маржинальных методов к высокоразмерным данным?

Заключение и подготовка к итоговой аттестации

1. Что такое Dropout и как он работает как метод регуляризации?
2. Как Dropout влияет на обобщающую способность нейросетей?
3. Объясните стабильность градиентного спуска и факторы, её влияющие.
4. Как регуляризация помогает предотвратить переобучение?
5. Приведите пример применения Dropout в практике глубокого обучения.
6. Что такое вариации Dropout (например, DropConnect) и их преимущества?
7. Как оценить стабильность градиентного спуска на практике?
8. В чем разница между L1 и L2 регуляризацией в контексте итоговой аттестации?
9. Как Dropout комбинируется с другими методами регуляризации?
10. Объясните, как нестабильность градиентного спуска приводит к проблемам в обучении.
11. Приведите пример, где регуляризация улучшает производительность модели.
12. Как подготовиться к вопросам по Dropout на экзамене?
13. Что такое адаптивные методы оптимизации и их связь со стабильностью?
14. Как оценить влияние регуляризации на границы обобщения?
15. Какие ключевые темы из курса следует повторить для успешной аттестации?

Примерные задания по контрольной работе

Контрольная работа №1

1. Опишите алгоритм Halving для онлайн-обучения и докажите верхнюю границу на число ошибок в задаче бинарной классификации с m гипотезами.

2. Сформулируйте фундаментальную теорему PAC-обучения и объясните, как VC-размерность влияет на требуемый размер выборки для достижения ε-точности с вероятностью 1-δ.

3. Вычислите VC-размерность для класса интервалов на вещественной прямой и приведите пример разбиения, иллюстрирующий этот размер.

4. Определите радемажеровскую сложность класса функций и объясните процесс симметризации для оценки ожидаемой ошибки.

5. Докажите неравенство ограниченных разностей для радемажеровской сложности и примените его к оценке обобщающей способности линейного классификатора.

6. Объясните теорию маржи в SVM, включая формулу для ширины маржи, и покажите, как она связана с границей обобщения по Vapnik.

7. Опишите ядерный трюк для перцептрона и реализуйте простой пример на Python с использованием RBF-ядра для нелинейной классификации двух классов.

8. Изложите шаги алгоритма AdaBoost, докажите экспоненциальную границу ошибки и реализуйте его на деревьях решений для датасета Iris с помощью Scikit-learn.

9. Объясните концепцию lazy-режима в нейросетях и как ядерная теория (NTK) аппроксимирует поведение широкой сети в терминах гауссовских процессов.

10. Опишите механизм Dropout как регуляризации, объясните его влияние на стабильность градиентного спуска и приведите пример кода для добавления Dropout в простую нейросеть на Keras.

Примерные домашние задания

Домашнее задание 1

1. Реализуйте алгоритм Weighted Majority на Python для задачи прогнозирования с 5 экспертами. Оцените его производительность на синтетическом датасете с 100 примерами и объясните, как веса влияют на финальный прогноз.

2. Докажите фундаментальную теорему PAC-обучения и рассчитайте достаточный размер выборки m для VC-размерности d=3, ε=0.1, δ=0.05. Приведите численный пример.

3. Определите радемажеровскую сложность для класса линейных функций в R^n и примените неравенство ограниченных разностей для оценки верхней границы ошибки обобщения.

4. Сравните SVM и логистическую регрессию на датасете MNIST (подмножество из 1000 примеров) по метрикам точности и ширине маржи. Реализуйте сравнение с помощью Scikit-learn и визуализируйте результаты.

5. Опишите алгоритм AdaBoost, докажите его границу ошибок и реализуйте на деревьях решений для бинарной классификации на датасете Breast Cancer (Scikit-learn), оценив ошибку на тесте.

Домашнее задание 2

1. Опишите модель mistake-bound и алгоритм Hedge для экспертных советов. Реализуйте Hedge на Python с 10 экспертами и проанализируйте влияние параметра β на число ошибок.

2. Вычислите VC-размерность для класса прямоугольников в R^2 и объясните, почему она конечна. Приведите пример shattering-доказательства.

3. Объясните симметризацию в радемажеровской сложности и примените её к оценке сложности для двухслойной нейросети с сигмоидными активациями.

4. Опишите ядерный трюк и теорему представления в RKHS. Реализуйте RBF-ядро для регрессии на синтетических данных и сравните с полиномиальным ядром по MSE.

5. Объясните lazy-режим в нейросетях и ядерную теорию NTK. Приведите пример, как NTK используется для анализа сходимости градиентного спуска в широких сетях.

Задания для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

№ п/п	Задание	Ответ	Компетенция
1	Назовите модель, где алгоритмы обучаются последовательно, минимизируя число ошибок на каждом шаге.	mistake-bound	УК-1
2	Какой алгоритм онлайн-обучения использует взвешивание экспертов для прогнозирования?	Weighted Majority	УК-1
3	Укажите алгоритм, который экспоненциально уменьшает веса экспертов при ошибках.	Hedge	УК-1
4	Назовите алгоритм, гарантирующий сходимость для линейно разделимых данных.	Перцептрон	УК-1
5	В PAC-обучении укажите меру сложности гипотезного класса, определяющую его мощность.	VC-размерность	УК-2
6	Назовите теорему, связывающую VC-размерность с обобщающей способностью.	Фундаментальная теорема PAC-обучения	УК-2
7	Укажите неравенство, устанавливающее равномерную сходимость эмпирических мер.	Гливенко-Кантелли	УК-2
8	Назовите метод симметризации, используемый в радемажеровской сложности.	Симметризация	УК-2
9	В радемажеровской сложности укажите неравенство для оценки разностей функций.	Неравенство ограниченных разностей	ОПК-1
10	Назовите метод, позволяющий оценивать обобщение через ширину разделяющей полосы.	Теория маржи для SVM	ОПК-1
11	Укажите теорему, которая позволяет представлять функции через ядра.	Теорема представления	ОПК-1
12	Назовите популярное ядро, основанное на евклидовом расстоянии.	RBF	ОПК-1
13	Укажите алгоритм бустинга, итеративно корректирующий веса примеров.	AdaBoost	ПК-1
14	В нейросетях назовите режим, где обучение похоже на ядерные методы.	lazy-режим	ПК-1
15	Назовите теорию, описывающую динамику обучения широких нейросетей.	NTK	ПК-1
16	Укажите технику регуляризации, случайно отключающую нейроны во время обучения.	Dropout	ПК-1
17	Назовите свойство, описывающее устойчивость градиентного спуска к шумам.	Стабильность градиентного спуска	ПК-2
18	В маржинальных методах укажите модель, максимизирующую маржу между классами.	SVM	ПК-2
19	Укажите трюк, позволяющий вычислять скалярные произведения в высокомерных пространствах.	Ядерный трюк	ПК-2
20	Назовите алгоритм, применяемый для сжатия данных в линейных моделях.	Алгоритмы сжатия для линейных моделей	ПК-2