

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
прикладной математики и  
информатики**

**А.М. Райгородский**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Онлайн-методы в машинном обучении
<b>по направлению:</b>	Прикладная математика и информатика
<b>профиль подготовки:</b>	А1360: Передовые методы искусственного интеллекта Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математических основ управления
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: Н.А. Пучкин, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры математических основ управления 12.02.2024

## Аннотация

В курсе рассматриваются ключевые понятия и современные математические методы теории онлайн-машинного обучения, а также их приложения для прогнозирования в различных областях науки. Характерная черта данного подхода — отсутствие предположения о существовании стохастических механизмов, генерирующих данные. Вместо этого рассматриваются конкурирующие классы методов прогнозирования, на основании которых строится оптимальный метод, который прогнозирует не хуже, чем любой метод из заданного класса. Первая часть курса содержит обзор основных понятий и классических алгоритмов Литлстоуна и Вармута, Вовка, Фройнда и Шапире. Получены оценки регрета этих алгоритмов. Приведены также их приложения для построения алгоритма бустинга AdaBoost и универсального портфеля (финансовых инструментов) Ковера. Представлена теория предсказания в условиях неполной информации.

В второй части излагается теория онлайн-выпуклой оптимизации - алгоритмы следования за регуляризованным лидером, алгоритмы онлайн-градиентного спуска и онлайн-зеркального спуска. В третьей части теория предсказания индивидуальных последовательностей исходов рассматривается в свете теории игр. Доказана минимаксная теорема и изучаются различные виды равновесия в играх с полной информацией. Приводятся алгоритмы построения калибруемых по Дейвиду предсказаний. Для успешного освоения курса слушателю желательно знать основные разделы общей теории алгоритмов и обладать элементарными знаниями в области теории вероятностей.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Изучение основных понятий и методов онлайн-методов в машинном обучении.

### Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области машинного обучения;
- приобретение теоретических знаний в области байесовской теории машинного обучения;
- оказание консультаций и помощи студентам в решении теоретических и практических задач.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации
	ПК-2.2 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого научного коллектива
	ПК-2.3 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- фундаментальные понятия, законы, методы статистической теории машинного обучения;
- основные свойства соответствующих математических объектов;
- аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач.

уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач теории машинного обучения;
- оценивать корректность постановок задач;
- строго доказывать или опровергать утверждение;
- самостоятельно находить алгоритмы решения задач теории машинного обучения, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;
- самостоятельно видеть следствия полученных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации и решения задач;
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов теории машинного обучения;
- предметным языком дискретной математики и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.

#### 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	Постановка задачи предсказания с использованием экспертных стратегий.	3	3		3
2	Алгоритм экспоненциального взвешивания экспертных решений.	3	3		3
3	Применение различных алгоритмов для многомерной регрессии.	3	3		3
4	Методы оптимизации для онлайн-обучения.	6	6		6
Итого часов		15	15		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

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

Семестр: 8 (Весенний)

###### 1. Постановка задачи предсказания с использованием экспертных стратегий.

Постановка задачи предсказания с использованием экспертных стратегий. Понятие (внешнего) регрета. Алгоритм взвешенного большинства. Оценка числа ошибок.

Алгоритм оптимального распределения потерь в режиме онлайн. Оценка его регрета.

Алгоритм следования за возмущенным лидером. Оценка его регрета. Состоятельность по Ханнану.

Задача минимизации регрета с точки зрения теории оптимизации. Алгоритм следования за регуляризованным лидером.

Онлайн-метод градиентного спуска.  
Онлайн-метод зеркального спуска.  
Неравенства больших уклонений. Варианты неравенства Хефдинга.

## 2. Алгоритм экспоненциального взвешивания экспертных решений.

Алгоритм экспоненциального взвешивания экспертных решений.  
Алгоритм экспоненциального взвешивания экспертных решений с переменным параметром обучения.  
Задача о многоруком бандите. Стохастическая и детерминированная постановки. Алгоритм для детерминированной постановки.  
Бустинг. Алгоритм Адабуст и его свойства.  
Агрегирующий алгоритм Вовка. Конечное и бесконечное множество экспертов.

## 3. Применение различных алгоритмов для многомерной регрессии.

Применение агрегирующего алгоритма для различных функций потерь: логарифмической, квадратичной, простой.  
Универсальный портфель акций Ковера. Алгоритм построения портфеля. Оценка  
Применение агрегирующего алгоритма для многомерной регрессии в режиме онлайн.  
Калибруемость предсказаний по Дэвиду. Алгоритмы построения калибруемых предсказаний.  
Универсальные RKHS. Построение универсальных алгоритмов для онлайн регрессии на основе метода калибруемости.  
Средние Радемахера и оценка калибровочной ошибки.  
Агрегирующий алгоритм как результат построения калибруемых предсказаний.

## 4. Методы оптимизации для онлайн-обучения.

Стохастический градиентный спуск (SGD): Варианты SGD: Momentum, RMSprop, Adam, Adagrad. Алгоритмы первого порядка (first-order methods).  
Методы второго порядка (second-order methods): Newton-Raphson. Метод сопряженных градиентов. Online Newton Step.

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

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

Колмогоровская сложность и алгоритмическая случайность [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. В. Вьюгин ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т), Ин-т проблем информации им. А. А. Харкевича .— М. : МФТИ, 2012 .— 140 с.

### Дополнительная литература

Теория игр [Текст] : учеб. пособие для вузов : рек. М-вом общ. и проф. образования РФ / Л. А. Петросян, Н. А. Зенкевич, Е. А. Семина .— М. : Высшая школа, 1998 .— 304 с.

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

Не используются

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

На занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение дисциплины требует:

- посещения студентом всех видов аудиторных занятий;
- ведения конспекта в ходе лекционных занятий;
- качественной самостоятельной подготовки к практическим занятиям, активной работы на них;
- активной самостоятельной и аудиторной работы студента;
- своевременной сдачи преподавателю заданий по аудиторным видам работ.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладная математика и информатика  
**профиль подготовки:** АІ360: Передовые методы искусственного интеллекта  
Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики  
кафедра математических основ управления  
**курс:** 4  
**квалификация:** бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** Н.А. Пучкин, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации
	ПК-2.2 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого научного коллектива
	ПК-2.3 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Онлайн-методы в машинном обучении» обучающийся должен:

### знать:

- фундаментальные понятия, законы, методы статистической теории машинного обучения;
- основные свойства соответствующих математических объектов;
- аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач.

### уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач теории машинного обучения;
- оценивать корректность постановок задач;
- строго доказывать или опровергать утверждение;
- самостоятельно находить алгоритмы решения задач теории машинного обучения, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;
- самостоятельно видеть следствия полученных результатов.

### владеть:

- навыками освоения большого объема информации и решения задач;
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов теории машинного обучения;
- предметным языком дискретной математики и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлого занятия.

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

1. Постановка задачи предсказания с использованием экспертных стратегий. Понятие (внешнего) регрета. Алгоритм взвешенного большинства. Оценка числа ошибок.
2. Алгоритм оптимального распределения потерь в режиме онлайн. Оценка его регрета.
3. Алгоритм следования за возмущенным лидером. Оценка его регрета. Состоятельность по Ханнану.
4. Задача минимизации регрета с точки зрения теории оптимизации. Алгоритм следования за регуляризованным лидером.
5. Онлайн метод градиентного спуска.
6. Онлайн метод зеркального спуска.
7. Неравенства больших уклонений. Варианты неравенства Хефдинга.
8. Алгоритм экспоненциального взвешивания экспертных решений.
9. Алгоритм экспоненциального взвешивания экспертных решений с переменным параметром обучения.
10. Задача о многоруком бандите. Стохастическая и детерминированная постановки. Алгоритм для детерминированной постановки.
11. Бустинг. Алгоритм Адабуст и его свойства.
12. Агрегирующий алгоритм Вовка. Конечное и бесконечное множество экспертов.
13. Применение агрегирующего алгоритма для различных функций потерь: логарифмической, квадратичной, простой.
14. Универсальный портфель акций Ковера. Алгоритм построения портфеля. Оценка выигрыша.
15. Применение агрегирующего алгоритма для многомерной регрессии в режиме онлайн.
16. Калибруемость предсказаний по Дэвиду. Алгоритмы построения калибруемых предсказаний.
17. Универсальные RKHS. Построение универсальных алгоритмов для онлайн регрессии на основе метода калибруемости.
18. Средние Радемахера и оценка калибровочной ошибки.
19. Агрегирующий алгоритм как результат построения калибруемых предсказаний.

#### Критерии оценивания

Оценка "Отлично" (10) - полностью и вовремя решены все задачи без ошибок. Продemonстрирован грамотный подход к решению задач, реализованы оптимальные алгоритмы, код оформлен в едином удобочитаемом стиле.

Оценка "Отлично" (9) - полностью и вовремя решены все задачи без ошибок. Продemonстрирован грамотный подход к решению задач, реализованы оптимальные алгоритмы.

Оценка "Отлично" (8) - полностью и вовремя решены все задачи без ошибок. Продemonстрирован грамотный подход к решению задач.

Оценка "Хорошо" (7) - полностью решены все задачи. Допущены несущественные ошибки.

Оценка "Хорошо" (6) - полностью решено большинство задач. В некоторых задачах допущены и не исправлены ошибки, либо некоторые задачи решены частично.

Оценка "Хорошо" (5) - полностью решено две трети задач. В некоторых задачах допущены и не исправлены ошибки, либо некоторые задачи решены частично.

Оценка "Удовлетворительно" (4) - полностью решено более половины задач. В остальных задачах допущены и не исправлены ошибки, либо некоторые задачи решены частично.

Оценка "Удовлетворительно" (3) - полностью решено более половины задач.

Оценка "Неудовлетворительно" (2) - решено менее половины задач.

Оценка "Неудовлетворительно" (1) - не решено ни одной задачи.

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

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий и других видов работ, предусмотренных программой дисциплины и (или) путем организации специального опроса, проводимого в устной и (или) письменной форме.

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.



Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, конспектами лекций или другими материалами.