

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского»

Институт информационных технологий, математики и механики

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от  
«30» ноября 2022 г. № 13

**Рабочая программа дисциплины**

**Обучение с подкреплением**

---

Уровень высшего образования  
**магистратура**

---

Направление подготовки  
**01.04.02 Прикладная математика и информатика**

---

Направленность образовательной программы  
**Компьютерные науки и приложения**

---

Форма обучения  
**очная**

---

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Курс Б1.В.ДВ.04.02 «Обучение с подкреплением» относится к Блоку 1 части ОПОП, формируемой участниками образовательных отношений, магистратуры по направлению подготовки «Прикладная математика и информатика», направленность образовательной программы «Компьютерные науки и приложения». Дисциплина «Обучение с подкреплением» преподаётся во втором семестре. Трудоемкость составляет 3 зачетные единицы, 108 час., зачет.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.04.02, «Обучение с подкреплением» относится к части ООП направления подготовки «01.04.02 Прикладная математика и информатика», формируемой участниками образовательных отношений.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-4. Способность разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	ПК-4.1. Знать методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач.	<u>Знать</u> принципы управления разработкой, а также разрабатывать и анализировать и сопровождать проекты создания (модификации) алгоритмов и их программной реализации задач целочисленного линейного программирования, машинного обучения и обучения с подкреплением. <u>Уметь</u> применять принципы управления разработкой, а также разрабатывать и анализировать и сопровождать проекты создания (модификации) алгоритмов и их программной реализации задач обучения с подкреплением, целочисленного линейного программирования, машинного обучения.	Контрольные работы

	ПК-4.2. Уметь применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач.	<u>Уметь</u> решать основные задачи обучения с подкреплением и машинного обучения. <u>Владеть</u> способами совершенствования собственной деятельности на основе самооценки и применять углубленные знания в области обучения с подкреплением и машинного обучения.	Контрольные работы
	ПК-4.3 Иметь навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач	<u>Уметь</u> применять типовые математические методы машинного обучения для обучения студентов различных уровней образования методологии решения задач обучения с подкреплением, целочисленного линейного программирования, машинного обучения и систем линейных неравенств. <u>Владеть</u> практическим опытом разработки системного и прикладного программного обеспечения для обучения студентов различных уровней образования методам решения задач целочисленного линейного программирования, машинного обучения и систем линейных алгебраических неравенств.	Контрольные работы
ПК-11. Способность разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач производственно-технологической деятельности	ПК-11.1. Знать методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач.	<u>Знать</u> методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых задач обучения с подкреплением и систем линейных неравенств. <u>Владеть</u> навыком анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых основных задач обучения с подкреплением и теории систем линейных неравенств.	Контрольные работы
	ПК-11.2. Уметь применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач.	<u>Уметь</u> решать основные задачи теории систем линейных неравенств и машинного обучения и применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей. <u>Владеть</u> способностью разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач машинного обучения.	Контрольные работы

	<p>ПК-11.3 Иметь навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач.</p>	<p><u>Уметь</u> применять принципы управления разработкой, а также разрабатывать и анализировать и сопровождать проекты создания (модификации) алгоритмов и их программной реализации обучения с подкреплением, целочисленного линейного программирования, машинного обучения.</p> <p><u>Владеть</u> способностями осуществлять научное руководство коллективом специалистов, создающих алгоритмы и их программные реализации обучения с подкреплением, целочисленного линейного программирования, машинного обучения.</p>	<p>Контрольные работы</p>
--	--	--	---------------------------

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>33</b>
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- текущий контроль (КСР)	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>75</b>
<b>Промежуточная аттестация – зачет</b>	

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы. Из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
<b>Введение.</b> Примеры использования обучения с подкреплением. Постановка задачи и основные определения.	10	2	2		4	6
<b>Марковский процесс принятия решений.</b>	12	2	2		4	8
<b>Динамическое программирование в обучении с подкреплением.</b> Итерации по стратегиям.	14	2	2		4	10
<b>Динамическое программирование в обучении с подкреплением.</b> Итерации по функции вознаграждения.	14	2	2		4	10
<b>Обучение с использованием темпоральных разностей.</b> TD-методы. Q-обучение. SARSA. Их обобщения.	14	2	2		4	10
<b>Некоторые примеры.</b> Программа Самуэля игры в шашки. TD-Gammon.	14	2	2		4	10
<b>Обучение с подкреплением и глубокие нейронные сети.</b> Основные принципы.	14	2	2		4	10
<b>Обучение с подкреплением и глубокие нейронные сети.</b> Примеры: AlphaGo, Atari.	15	2	2		4	11
Текущий контроль (КСР)	1				1	
Промежуточная аттестация – зачет						
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>16</b>	<b>16</b>		<b>33</b>	<b>75</b>

Практические занятия (семинарские занятия) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает:

практические работы с набором данных Spam, сравнение различных методов обучения (метод опорных векторов, K ближайших соседей, деревьев решений и т.д.).

На проведение практических занятий (семинарских занятий) в форме практической подготовки отводится 16 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Разработка архитектуры, алгоритмических и программных решений системного и прикладного программного обеспечения;

разработка языков программирования, алгоритмов, библиотек и пакетов программ, продуктов системного и прикладного программного обеспечения.

- компетенций - ПК-4, ПК-11.

Текущий контроль успеваемости реализуется в формах опросов на занятиях лекционного типа. Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачет и экзамен).

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Обучение с подкреплением» включает выполнение заданий под контролем преподавателя, подготовку к промежуточной аттестации в традиционной форме.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используется электронный курс «Машинное обучение и нейросетевой анализ данных в Python», созданный в системе открытых онлайн-курсов - МООС - <https://online.edu.ru/public/course?faces-redirect=true&cid=11241779>.

**Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

#### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине «Обучение с подкреплением»

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала.  Невозможность оценить полноту	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки,	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	ошибки.	ошибки.	несколько негрубых ошибок	несколько несущественных ошибок	без ошибок.	
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»

не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»



## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1 Контрольные вопросы для оценки сформированности компетенции ПК-4

- 1) Марковский процесс принятия решений.
- 2) Динамическое программирование в обучении с подкреплением. Итерации по стратегиям.
- 3) Итерации по функции вознаграждения.
- 4) Обучение с использованием темпоральных разностей. TD-методы.
- 5) Q-обучение.
- 6) SARSA.
- 7) Программа Самуэля игры в шашки.
- 8) TD-Gammon.
- 9) Обучение с подкреплением и глубокие нейронные сети. Основные принципы.
- 10) AlphaGo,
- 11) Обучение с подкреплением при программировании стратегии в игры Atari.

### 5.2.2. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ПК-11

1. Дана обучающая выборка

$x_1$	0	1	1	0	0	1	1	2	6
$x_2$	3	3	1	0	1	1	2	3	1
$y$	0	0	0	0	1	1	1	1	1

Методом линейного дискриминантного анализа для каждого класса построить дискриминантную функцию и записать уравнение разделяющей поверхности.

2. Дана обучающая выборка (см. таблицу выше). Методом квадратичного дискриминантного анализа построить дискриминантные функции.
3. Дана обучающая выборка (см. таблицу выше). С помощью наивного байесова классификатора оценить вероятности  $P(Y = 1 \mid x_1 = 1, x_1 = 2)$
4. Дана обучающая выборка:

$x$	-1	0	0	1	2
$y$	1	-2	1	7	8

Методом наименьших квадратов построить полиномиальную модель вида  $f(x) = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2$ .

### 5.2.3. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Дана обучающая выборка (см. выше). Методом ридж-регрессии построить полиномиальную модель вида  $f(x) = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2$ , если параметр регуляризации  $\lambda = 2$ .
2. Доказать, что в случае квадратичной функции потерь минимум среднему риску доставляет условное среднее. Чему равен при этом средний риск?
3. Доказать, что если функция потерь равна модулю разности, то минимум среднему риску доставляет условная медиана. Чему равен при этом средний риск?
4. Пусть ответ задается в виде аналитической функции **x XOR ((y XOR z) OR w)**, где w, x, y и z – принимают значение TRUE или FALSE. Постройте дерево решений, предсказывающее ответ с нулевой ошибкой.

#### 5.2.4. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ПК-11

1. Загрузите набор данных Spam (<http://www-stat.stanford.edu/~tibs/ElemStatLearn/>). Разделите данные на обучающую и тестовую выборку (согласно меткам в файле spam.traintest). Сравните качество обучения с использованием метода опорных векторов и  $K$  ближайших соседей. Параметры моделей выберите на Ваше усмотрение.
2. Загрузите набор данных Spam (<http://www-stat.stanford.edu/~tibs/ElemStatLearn/>). Разделите данные на обучающую и тестовую выборку (согласно меткам в файле spam.traintest). Сравните качество обучения с использованием деревьев решений и метода  $K$  ближайших соседей. Параметры моделей выберите на Ваше усмотрение.
3. Загрузите набор данных Spam (<http://www-stat.stanford.edu/~tibs/ElemStatLearn/>). Разделите данные на обучающую и тестовую выборку (согласно меткам в файле spam.traintest). Сравните качество обучения с использованием деревьев решений и метода опорных векторов. Параметры моделей выберите на Ваше усмотрение.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) Основная литература:**

1. Золотых Н.Ю. Машинное обучение. Курс лекций. Нижний Новгород: ННГУ, 2007.  
<http://www.uic.unn.ru/~zny/ml>

### **б) Дополнительная литература**

1. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The elements of statistical learning: Data Mining, Inference, and Prediction. 2nd Edition. Springer, 2009 URL: <http://www-stat.stanford.edu/~tibs/ElemStatLearn/>

### **в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

1. Платформа для решений задач обучения с подкреплением OpenAI Gym:  
<https://www.openai.com/>
2. Python Machine Learning Library PyBrain: <http://pybrain.org/>

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного типа), оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

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

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 01.04.02 Прикладная математика и информатика.

Автор программы: \_\_\_\_\_

д. ф.-м. н., проф. Н. Ю. Золотых

Рецензент: \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой АГиДМ \_\_\_\_\_ д. ф.-м. н., доц. Н.Ю. Золотых

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от «30» ноября 2022 г. № 13