

00А

ВЗ5А

**ВЫСШЕЕ**

**ОБРАЗОВАНИЕ**

М. В. Воронов, В. И. Пименов,  
И. А. Небаев

# СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

учебник и практикум  
2-е издание



Курс с on-line  
оцениванием

**УМО ВО**  
РЕКОМЕНДУЕТ

 **ЮРАЙТ**  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

М. В. Воронов, В. И. Пименов, И. А. Небаев

# СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ ДЛЯ ВУЗОВ

2-е издание, переработанное и дополненное

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования в качестве  
учебника и практикума для студентов высших учебных заведений, обучающихся  
по ИТ и математическим направлениям*



Курс с практическими заданиями и дополнительными материалами  
доступен на образовательной платформе «Юрайт»,  
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»

Москва • Юрайт • 2024

**Авторы:**

**Воронов Михаил Владимирович** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики факультета информационных технологий Московского государственного психолого-педагогического университета;

**Пименов Виктор Игоревич** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий института информационных технологий и автоматизации Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна;

**Небаев Игорь Алексеевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий института информационных технологий и автоматизации Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна.

**Рецензенты:**

**Куравский Л. С.** — доктор технических наук, профессор, декан факультета информационных технологий, заведующий кафедрой прикладной информатики и мультимедийных технологий Московского государственного психолого-педагогического университета;

**Ходаковский В. А.** — доктор технических наук, профессор кафедры информатики и информационной безопасности факультета автоматизации и интеллектуальных технологий Петербургского государственного университета путей сообщения.

**Воронов, М. В.**

В75 Системы искусственного интеллекта: учебник и практикум для вузов / М. В. Воронов, В. И. Пименов, И. А. Небаев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 268 с. — (Высшее образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-17032-0

В курсе рассматриваются вопросы, связанные с основами построения систем искусственного интеллекта, моделями и методологией вывода знаний, инструментами инженерии знаний, анализа данных и реализацией алгоритмов искусственного интеллекта на практике. Описаны концептуальные принципы реализации экспертных систем, нечеткой логики, искусственных нейронных сетей и т. д. Теоретический материал сопровождается обширным практикумом, решение задач которого демонстрируется как в рамках аналитической платформы, так и в форме программных реализаций на языке Python.

Соответствует актуальным требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям «Информатика и вычислительная техника», а также другим направлениям, связанным с разработкой новых информационных технологий и интеллектуальных систем.

УДК 004.8(075.8)

ББК 32.813я73

553 835



Все права защищены. Никакая часть ~~данной книги не может быть~~ воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-534-17032-0

© Воронов М. В., Пименов В. И.,  
Небаев И. А., 2022

© Воронов М. В., Пименов В. И.,  
Небаев И. А., 2023, с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2024

# Оглавление

Предисловие .....	6
-------------------	---

## Раздел I ЗНАНИЯ

<b>Тема 1. Основные понятия искусственного интеллекта .....</b>	<b>11</b>
1.1. Понятие.....	11
1.2. Информация .....	15
1.3. Интеллект .....	19
1.4. Искусственный интеллект .....	20
1.5. Экспертные системы .....	25
1.6. Нейронные сети .....	27
<b>Тема 2. Модели знаний.....</b>	<b>36</b>
2.1. Данные и знания .....	36
2.2. Классификация знаний.....	42
2.3. Модели представления знаний .....	46
2.3.1. Алгебраическая система как модель знаний .....	49
2.3.2. Декларативные модели знаний ( $B = \langle A, C, R \rangle$ ) .....	51
2.3.3. Процедурные модели знаний ( $H = \langle A, C, F \rangle$ ) .....	52
2.3.4. Обобщенная процедурная модель.....	54
2.3.5. Декларативно-процедурные модели .....	57
2.4. Типовые формы представления знаний .....	59
2.4.1. Логическая форма представления знаний .....	60
2.4.2. Продукционная форма представления знаний .....	62
2.4.3. Сетевые формы представления знаний .....	64
2.4.4. Представление знаний в виде фреймов .....	65
2.4.5. Представление знаний в виде онтологий .....	66
<b>Рекомендуемая литература к разделу I .....</b>	<b>71</b>

## Раздел II ВЫВОД ЗНАНИЙ

<b>Тема 3. Четкий вывод .....</b>	<b>75</b>
3.1. Проблемы и задачи.....	75
3.2. Решение задач, представленных в пространстве состояний .....	80
3.2.1. Классификация представленных в пространстве состояний задач .....	81
3.2.2. О решении задач, заданных в пространстве состояний .....	83

3.3. Метод сведения исходной задачи к подзадачам.....	88
3.4. Решение логических задач методом прямого вывода.....	89
3.5. Решение логических задач методом логического вывода .....	92
3.6. Решение логических задач методом доказательства .....	94
<b>Тема 4. Вывод в условиях неопределенности.....</b>	<b>102</b>
4.1. Неопределенность .....	102
4.2. Вывод знаний в условиях физической неопределенности.....	119
4.3. Вывод в условиях нечеткости. Нечеткие множества .....	126
4.3.1. Понятие нечеткого множества .....	126
4.3.2. Операции над нечеткими множествами.....	130
4.3.3. Нечеткие отношения .....	133
4.3.4. Нечеткие и лингвистические переменные .....	136
4.3.6. Основы нечеткой логики.....	140
4.3.7. Элементы нечетких алгоритмов.....	141
4.3.8. Вывод в условиях лингвистической неопределенности .....	143
4.3.9. Обратный нечеткий логический вывод .....	146
<b>Рекомендуемая литература к разделу II .....</b>	<b>152</b>

## Раздел III ИНЖЕНЕРИЯ ЗНАНИЙ

<b>Тема 5. Методы извлечения знаний .....</b>	<b>157</b>
5.1. Прямой перенос знаний эксперта.....	157
5.2. Технологии интеллектуального анализа данных.....	158
5.3. Виды данных.....	160
5.4. Классификация и кластеризация.....	162
5.5. Машинное обучение .....	165
5.5.1. Обучение с учителем (методы классификации) .....	166
5.5.2. Обучение без учителя (методы кластерного анализа) .....	167
5.5.3. Нейросетевая модель обучения.....	171
5.5.4. Самоорганизующиеся карты признаков.....	174
<b>Тема 6. Инструменты разработки интеллектуальных систем для решения задач классификации и прогнозирования.....</b>	<b>177</b>
6.1. Инструменты анализа данных. Платформа Deductor .....	177
6.2. Разработка систем, основанных на продукционной модели представления знаний.....	184
6.2.1. Дерево решений.....	184
6.2.2. Построение продукционных правил с помощью дерева решений (для номинальных данных) .....	191
6.2.3. Построение дерева решений на основе числовых данных ...	194
6.2.4. Реализация дерева решений в среде разработки IDLE .....	201
6.2.5. Реализация алгоритма Random Forest (расширение дерева решений).....	219
6.2.6. Реализация экспертной системы.....	221

6.3. Реализация модели классификации Байеса .....	224
6.4. Построение нейросетевых моделей.....	226
6.4.1. Построение нейросетевой модели классификации .....	229
6.4.2. Построение нейросетевой модели прогнозирования .....	233
6.4.3. Реализация нейросетевой модели.....	238
6.5. Автоматическая классификация объектов.....	243
6.5.1. Сегментация данных с использованием алгоритмов g-means и k-means .....	243
6.5.2. Построение и анализ самоорганизующихся карт признаков.....	246
6.6. Построение интерпретируемой модели прогнозирования (модели регрессии).....	253
6.6.1. Селекция предикторов и построение модели прогнозирования .....	253
6.6.2. Реализация интерпретируемой модели прогнозирования.....	259
<b>Рекомендуемая литература к разделу III .....</b>	<b>266</b>
<b>Новые издания по дисциплине «Системы искусственного интеллекта» и смежным дисциплинам .....</b>	<b>267</b>

## Предисловие

Исследования в области искусственного интеллекта и инженерии знаний с середины XX в. стали одним из трендов развития научной тематики. Однако мотивацию к широкому прикладному использованию искусственный интеллект получил именно в наши дни, в первую очередь благодаря резкому повышению машинной производительности и успехам прикладной математики, что открыло новые возможности его применения практически во всех сферах деятельности людей. Наиболее ярко это проявляется в лавинообразном распространении мобильных информационных технологий. Каждое устройство, которым пользуется массовый потребитель в быту и профессиональной деятельности, несет в себе определенный квант алгоритмов и знаний, созданных на идеях искусственного интеллекта.

За внешней легкостью работы и доступностью современных средств телекоммуникации, а также многочисленных «умных» машин и механизмов стоят сложные модели знаний и алгоритмы. С помощью развитых алгоритмов искусственного интеллекта и высокой производительности становится возможным научить машину имитировать процессы обучения, мышления и принятия решений, что ранее была присуще только «человеку разумному». Отточенный и тренированный машинный интеллект обуславливает возможность сделать качественно новый шаг в развитии цивилизации.

Эффективность приложений искусственного интеллекта, как никакая другая область интеллектуальной деятельности, зависит от умения объединять теорию и практику, ибо эффективность снабженных искусственным интеллектом систем может быть подтверждена только их практическим применением. Это и обусловило особенность данного курса: наряду с освоением базовых знаний развить навыки в понимании алгоритмов работы искусственного интеллекта на практике, которые базируются на умении не только использовать, но и подтверждать эффективность их применения.

Данный курс предназначен для подготовки бакалавров и магистрантов целого ряда направлений обучения. Материал курса рассчитан на формирование широкого набора качеств и компетенций в предметной области. В результате изучения курса студенты должны:

**знать**

- современные подходы к решению слабоформализованных задач;
- методы представления знаний в интеллектуальных системах;
- технологии оперативного анализа данных;

- модели извлечения знаний;
- возможности аналитических инструментов;
- принципы построения и архитектуру интеллектуальных систем;

**уметь**

- проектировать базы знаний с помощью методов инженерии знаний;
- анализировать исходные данные;
- интерпретировать результаты анализа;
- выполнять прогноз поведения сложных бизнес-систем;

**владеть навыками**

- разработки экспертных систем;
- применения нейронных сетей и эволюционных алгоритмов в прикладных областях;
- анализа данных с помощью методов *data mining* и *business intelligence*.

Вместе с тем объем курса и степень погружения в проблематику искусственного интеллекта позволяют использовать курс широкому кругу читателей, в том числе и специалистам при решении актуальных задач в самых различных сферах их деятельности.