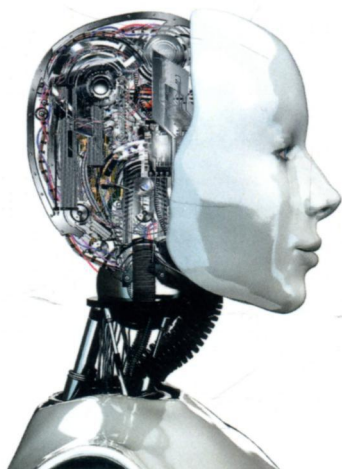


М. В. БУРАКОВ

# СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



Предмет и методы искусственного интеллекта / Механизмы работы экспертных систем / Нечеткие системы / Искусственные нейронные сети / Метаэвристические алгоритмы



• ПРОСПЕКТ •

М. В. БУРАКОВ

# СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



Электронные версии книг на сайте  
[www.prospekt.org](http://www.prospekt.org)



• ПРОСПЕКТ •

Москва  
2024

УДК 004.89  
ББК 32.813  
Б90

Электронные версии книг  
на сайте [www.prospekt.org](http://www.prospekt.org)

*Автор:*

**Бураков М. В.** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления в технических системах Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП), автор более 150 научных и учебно-методических публикаций.

**Бураков М. В.**

Б90 Системы искусственного интеллекта : учебное пособие. — Москва : Проспект, 2024. — 440 с.

ISBN 978-5-392-41123-8

Рассматриваются основные понятия, методы и алгоритмы систем искусственного интеллекта. Приведены теоретические основы экспертных систем, нечеткой логики, искусственных нейронных сетей и метаэвристических алгоритмов. Изложение теоретического материала подкреплено большим количеством примеров компьютерного моделирования.

Для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению 27.00.00 «Управление в технических системах», а также других направлений, связанных с разработкой информационно-управляющих систем.

УДК 004.89  
ББК 32.813

*В пособии содержатся изображения программного продукта MATLAB R2008b, авторские права на которые принадлежат его разработчикам (правообладателям) (The MathWorks, Inc), а названия являются зарегистрированными торговыми марками. Автор не имеет никакого отношения к вышеупомянутому программному продукту. Интерфейс программы, представленный на иллюстрациях (дата создания — 2015 г.), может отличаться от интерфейса текущей версии программы.*

*Изображение на обложке Digital Storm/Shutterstock.com.*

*Учебное издание*

**Бураков Михаил Владимирович**

**СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

*Учебное пособие*

Подписано в печать 23.01.2024. Формат 60×90<sup>1/16</sup>.  
Печать цифровая. Печ. л. 27,5. Тираж 500 (1-й завод 100) экз.

ООО «Проспект»  
111020, г. Москва, ул. Боровая, д. 7, стр. 4.

ISBN 978-5-392-41123-8

© Бураков М. В., 2016  
© ООО «Проспект», 2016

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....  | 3   |
| <b>1. ПРЕДМЕТ И МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА</b> .....                                       | 5   |
| 1.1. Понятие искусственного интеллекта .....   | 5   |
| 1.2. Экспертные системы .....  | 12  |
| 1.3. Нечеткие системы .....  | 14  |
| 1.4. Искусственные нейронные сети .....  | 17  |
| 1.5. Метаэвристические алгоритмы .....   | 20  |
| <b>2. МЕХАНИЗМЫ РАБОТЫ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ</b> .....   | 25  |
| 2.1. Представление знаний .....  | 25  |
| 2.2. Логика предикатов 1-го порядка .....  | 26  |
| 2.3. Принципы логического программирования .....   | 34  |
| 2.4. Использование теории вероятностей для учета неопределенности<br>при логическом выводе ..... | 44  |
| 2.5. Эвристический подход к учету неопределенности .....   | 49  |
| 2.6. Извлечение знаний и динамические экспертные системы .....                                   | 53  |
| <b>3. НЕЧЕТКИЕ СИСТЕМЫ</b> .....   | 58  |
| 3.1. Нечеткие множества .....  | 58  |
| 3.2. Нечеткая логика .....   | 103 |
| 3.3. Нечеткие регуляторы .....   | 140 |
| <b>4. ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ</b> .....   | 195 |
| 4.1. Базовые понятия .....   | 195 |
| 4.2. Нейронные сети прямого распространения .....  | 213 |
| 4.3. Динамические нейронные сети .....   | 281 |
| <b>5. МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ</b> .....  | 337 |
| 5.1. Глобальная оптимизация и метаэвристические алгоритмы .....                                  | 337 |
| 5.2. Генетический алгоритм .....   | 340 |
| 5.3. Генетический алгоритм в MatLab .....  | 365 |
| 5.4. Метод роя частиц .....  | 384 |
| 5.5. Муравьиная оптимизация .....  | 387 |
| 5.6. Другие метаэвристические алгоритмы .....  | 390 |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....  | 402 |
| <b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b> .....  | 406 |
| <b>Приложение 1</b> .....  | 412 |
| <b>Приложение 2</b> .....  | 416 |
| <b>Приложение 3</b> .....  | 420 |