

А

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

В.В. Майоров, С.Е. Ануфриенко

# Импульсные нейросети

*Учебное пособие*

*Рекомендовано*

*Научно-методическим советом университета для студентов  
специальности и направления "Прикладная математика  
и информатика"*

Ярославль 2006

А

УДК 004.032.26

ББК В182я73

М14

*Рекомендовано*

*Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного издания. План 2006 года*

## РЕЦЕНЗЕНТЫ

канд. физ.-мат. наук, доцент Т.Л. Трошина; кафедра математического анализа  
Ярославского государственного педагогического университета им. К.Д. Ушинского

**Майоров, В.В., Ануфриенко, С.Е.** Импульсные нейросети : учеб. пособие /  
М14 В.В. Майоров, С.Е. Ануфриенко; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль: ЯрГУ, 2006. – 98 с.

ISBN 5-8397-0439-3

В учебном пособии рассматриваются нейросети на основе импульсной модели нейрона. В первой главе приводятся сведения об уравнениях с отклоняющимся аргументом. Далее излагается материал по темам: вывод уравнения, описывающего динамику нейрона-автогенератора, изучение модели синаптического взаимодействия нейронов, исследование различных кольцевых нейронных структур, описание возможных решений. Особое внимание уделяется изложению и применению метода асимптотического интегрирования. Отдельная глава посвящена изучению сетей из диффузионно связанных пороговых нейронов.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 010501 "Прикладная математика и информатика" и направлению 010500 "Прикладная математика и информатика" (дисциплина "Нейронные сети на основе импульсной модели нейрона", к/в, блок ОПД), очной формы обучения.

Ил. 24. Библиогр.: 12 назв.

ISBN 5-8397-0439-3

© Ярославский государственный  
университет, 2006

© В.В. Майоров, С.Е. Ануфриенко, 2006

# Оглавление

<b>Введение</b>	<b>5</b>
<b>1. Уравнения с отклоняющимся аргументом</b>	<b>6</b>
1.1. Некоторые сведения об уравнениях с отклоняющимся аргументом . . . . .	6
1.2. Классификация уравнений с отклоняющимся аргументом . . . . .	7
1.3. Постановка основной начальной задачи . . . . .	7
1.4. Метод шагов . . . . .	8
1.5. Линейные уравнения с запаздыванием . . . . .	11
1.6. Линейные уравнения с постоянными коэффициентами . . . . .	12
<b>2. Модель отдельного нейрона</b>	<b>17</b>
2.1. Описание биологического нейрона . . . . .	17
2.2. Механизм генерации спайков . . . . .	17
2.3. Вывод уравнения нейрона-автогенератора . . . . .	18
2.4. Исследование уравнения автогенератора . . . . .	23
<b>3. Взаимодействие нейронов</b>	<b>29</b>
3.1. Модель синаптического взаимодействия . . . . .	29
3.2. Нахождение латентного периода . . . . .	32
<b>4. Кольцевые структуры из нейронов-автогенераторов</b>	<b>41</b>
4.1. Предварительные замечания . . . . .	41
4.2. Кольцо из четырех нейронов . . . . .	41
4.2.1. Описание прохождения волны возбуждения по кольцу . . . . .	42
4.3. Кольцо из $N$ нейронов . . . . .	46
4.4. Кратные волны . . . . .	49
4.5. Модель двойного кольца из $N$ нейронов . . . . .	53
4.6. Модель воздействия на нейрон пачки спайков . . . . .	59
4.7. Модель пачечного воздействия на систему двух нейронов . . . . .	63
4.8. Архитектура нейронной сети с модульной организацией . . . . .	66
4.9. Алгоритм интегрирования системы уравнений . . . . .	67

4.10. Динамика нейронной сети . . . . .	70
<b>5. Нейронные сети из пороговых нейронов</b>	<b>75</b>
5.1. Модель порогового нейрона . . . . .	75
5.2. Понятие о диффузионном взаимодействии нейронов . . . . .	79
5.3. Колебания в системе из шести пороговых нейронов . . . . .	79
5.3.1. Исследование устойчивости положения равновесия . . . . .	80
5.3.2. Волны в кольце из диффузионно связанных пороговых нейронов . . .	82
5.4. Колебания в сети из пороговых нейронов на плоскости . . . . .	89
<b>Заключение</b>	<b>96</b>

# Введение

Представление о принципах обработки информации мозгом является важнейшей предпосылкой для моделирования нейронных сетей. Сигналы, поступающие в мозг, обеспечивают организм информацией, необходимой для существования. Еще в 1926 году Э. Адриан [1] показал, что сенсорная информация передается в виде импульсов в форме частотного кода. Нервные клетки (нейроны) обмениваются импульсами. Согласно синаптической гипотезе, выдвинутой Д. Хеббом [2] и позднее развитой Дж. Экклсом [3], они реагируют на последовательность импульсов в зависимости от текущих синаптических проницаемостей (эффективности входов). Реакция нейрона зависит не только от состояния входов, но и от текущего состояния самого нейрона. Например, после импульса нейрон невосприимчив к воздействию. Из синаптической теории вытекает, что главная особенность работы мозга в процессе восприятия, хранения и воспроизведения информации — коллективизм функционирования его структур.

Важным этапом в развитии представлений о механизмах памяти послужили исследования М.Н. Ливанова [4] о фазово-частотном взаимодействии циклических (волновых) нейронных процессов. А.Н. Лебедевым [5] разработана гипотеза о фазово-частотном кодировании сигналов в нервной системе. Согласно этой гипотезе, воспроизводимая информация хранится в памяти в виде устойчивых комбинаций из различающихся фазами когерентных незатухающих волн нейронной активности.

Данное пособие написано в рамках фазово-частотного подхода к проблеме представления и хранения информации. Исходя из биологических предпосылок разработана модель импульсного нейрона, основанная на дифференциальном уравнении с запаздыванием. Модель пригодна для описания двух типов нейронов: автогенераторов и пороговых. Приводится важный результат: сети из импульсных нейронов могут бесконечно долго хранить заданную последовательность образов.