

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского"

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ  
декан Якимов А.В.

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**“Введение в динамику сигнальных процессов в нейронных сетях мозга”**

Направление подготовки  
010801 Радиофизика и электроника

Квалификация (степень) выпускника  
Специалист

Форма обучения  
очная

Нижний Новгород  
2014

## 1. Цели освоения курса

Целями освоения курса “Введение в динамику сигнальных процессов в нейронных сетях мозга” являются 1) формирование у студентов представления об основах математического моделирования динамики нейронных сетей; 2) формирование представлений о генерации и распространении импульсных сигналов в нейронных сетях мозга, основанной на радиофизическом представлении нейронов в виде нелинейных генераторов импульсных сигналов; 3) освоение навыков математического и компьютерного моделирования.

## 2. Место курса в структуре ООП

Данный курс относится к группе специальных курсов по выбору студента 5 курса обучающегося по специальности «010801 Радиофизика и электроника»

Требования к входным знаниям, умениям и компетенциям студентов. Для успешного освоения курса необходимо иметь общие представления о математическом анализе, дифференциальных уравнениях, владеть основами бифуркационного анализа и других методов теории колебаний, владеть основами программирования, владеть навыками работы с электронными базами данных и учебной литературой.

Изучение настоящей учебной дисциплины является основой для дальнейшего успешного изучения принципов математического моделирования нейронных сетей.

## 3 Требования к результатам освоения модуля.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:** базовые математические модели нейронных генераторов (такие как Integrate&Fire, Ходжкина-Хаксли, ФитцХью-Нагумо и др.), базовые модели кратковременной (Tsodyks, Markram) и долгосрочной (STDP) синаптической пластичности.

**Уметь:** классифицировать модельное описание механизмов генерации импульсов в нейронных генераторах, выбирать уровень детализации математических моделей для решения конкретных задач.

**Владеть:** терминологией моделирования в радиофизике и нейродинамике, основными понятиями об функционировании биологических нейронов, о принципах генерации и распространении сигналов в нейронных сетях.

## 4. Структура и содержание модуля.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1.5 зачетные единицы (34 часа лекции и 20.9 часов лабораторные занятия).

№ п/п	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практ. занятия	Самостоятельная работа студентов	
1	Базовые модели нейронов. Методы и подходы к	9	1-7	14		5.9	Проверочная работа, отчет

	моделированию отдельных нейронов.						
2	Базовые модели синапсов. Методы и подходы к моделированию отдельных синапсов и передачи сигнала между нейронами.	9	8-11	8		5	Проверочная работа, отчёт
3	Моделирование сетей нейронов.	9	12-13	4		5	Проверочная работа, отчёт
4	Моделирование сигнализации в больших сетях.	9	14-17	8		5	Проверочная работа, отчёт
	<b>Всего часов:</b>			<b>34</b>		20.9	Экзамен <b>Итого: 54.9- часа.</b>

## 5.1 Содержание разделов дисциплины

### 5.1.1. Базовые модели нейронов. Методы и подходы к моделированию отдельных нейронов.

Введение в предмет курса. Актуальность и значимость тематики. Знакомство с программой курса. Назначение и возможности математического моделирования. Основы функционирования клеток мозга. Подходы к моделированию спайковых нейронных сетей. Феноменологические и биологически релевантные модели нейронов. Модель Ходжкина-Хаксли. Принципы генерации импульса в модели Ходжкина-Хаксли. Принципы разработки новых моделей на основе формализма Ходжкина-Хаксли. Принципы редуцирования моделей. Модели ФитцХью-Нагумо, Ровата-Сельверстона. Классификация возбудимости. Основные бифуркации в моделях. Семейство моделей пороговых интегрирующих нейронов (integrate-and-fire): простая модель с линейной утечкой, модели интегратора и резонатора, модель квадратичного интегратора, модель адаптивного интегратора. Модель Ижикевича. Воспроизведение основных импульсных паттернов живых нейронов в модели Ижикевича.

### 5.1.2. Базовые модели синапсов. Методы и подходы к моделированию отдельных синапсов и передачи сигнала между нейронами.

Зависимость синаптического тока от пресинаптического потенциала. Диффузионная связь, статический и динамический синапс. Зависимость от времени импульса. Моделирование синапса на основе динамики проводимостей и токов. Экспоненциальная динамика, альфа-синапс, дельта-синапс. Кинетика разных рецепторов. Введение в устройство синапса, виды синапсов. Классификация типов пластичности. Модель кратковременной частотно-зависимой пластичности Тсодикса-Марккрама. Синаптическая депрессия и фасилитация. Модели долговременной фазово-зависимой пластичности. Парное правило STDP. Мультипликативное и аддитивное правило изменения синаптических весов. Триpletное правило STDP.

### 5.1.3. Моделирование сетей нейронов.

Обзор сетевых моделей на основе рассмотренных базовых элементов нейроноподобных генераторов и межнейронных контактов. Эффекты и механизмы генерации и распространения популяционных сигналов.

### 5.1.4. Моделирование сигнализации в больших сетях.

Обзор стандартных симуляторов спайковых нейронных сетей. Примеры задач, решаемых с использованием параллельных вычислений на стандартных симуляторах. Примеры задач вычислительной нейронауки, решаемых с применением параллельных вычислений.

## 6. Лабораторный практикум.

Практикум на компьютере. Решение базовых задач моделирования:

- Построение модели нейрона, исследование порога генерации импульса.
- Исследование связи на примере двух нейронов.
- Построение и расчёт динамики сетей с пластичностью.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

1. Некоркин В.И., Лекции по основам теории колебаний: Учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011.
2. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. Наука, М., 1981.
3. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. Издательство ГосУНЦ «Колледж», 1999
4. Izhikevich, E. M.. Dynamical systems in neuroscience: the geometry of excitability and bursting. The MIT Press: 2007, ISBN 978-0-262-09043-8.
5. Brette, R., Rudolph, M., Carnevale, T., Hines, M., Beeman, D., Bower, J. M., Diesmann, M., et al. (n.d.). Simulation of networks of spiking neurons: A review of tools and strategies, (Bat 33), 1–66.
6. Migliore M. et al. Parallel network simulations with NEURON. // J. Comput. Neurosci. Springer, 2006. Vol. 21, No 2. P. 119–129.
7. King J.G. et al. A Component-Based Extension Framework for Large-Scale Parallel Simulations in NEURON // Front. Neuroinform. Frontiers Research Foundation, 2009. Vol. 3, No April. P. 11.
8. Van Albada S.J. et al. International Workshop, BrainComp 2013, Cetraro, Italy, July 8-11, 2013, Revised Selected Papers / ed. Grandinetti L., Lippert T., Petkov N. Cham: Springer International Publishing, 2014. Vol. 8603. P. pp 22–32.
9. Gewaltig M.-O., Diesmann M. NEST (NEural Simulation Tool) // Scholarpedia / ed. Izhikevich E. Eugene Izhikevich, 2007. Vol. 2, No 4. P. 1430.
10. Davison A.P. et al. PyNN: A Common Interface for Neuronal Network Simulators. // Front. Neuroinform. Frontiers Media SA, 2008. Vol. 2. P. 11.
11. Djurfeldt M. et al. Brain-scale simulation of the neocortex on the IBM Blue Gene/L supercomputer // IBM J. Res. Dev. IBM, 2008. Vol. 52, No 1.2. P. 31–41.
12. Markram H. The blue brain project. // Nat. Rev. Neurosci. 2006. Vol. 7, No 2. P. 153–160.
13. Izhikevich E.M., Edelman G.M. Large-scale model of mammalian thalamocortical systems. // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 2008. Vol. 105, No 9. P. 3593–3598.
14. Симонов А.Ю., Пимашкин А.С., Казанцев В.Б. Моделирование процессов генерации лавинообразных популяционных разрядов в сетях спайковых нейронов с использованием нейросимулятора NEST. - Учебно-методическое пособие. Издательство Нижегородского государственного университета, 2011 г.

б) дополнительная литература:

15. Brette, R., & Gerstner, W. (2005). Adaptive exponential integrate-and-fire model as an effective description of neuronal activity. *Journal of neurophysiology*, 94(5), 3637–42. doi:10.1152/jn.00686.2005
16. Eppler, J. M., Helias, M., Muller, E., Diesmann, M., & Gewaltig, M.-O. (2009). PyNEST: A Convenient Interface to the NEST Simulator. *Frontiers in neuroinformatics*, 2(January), 12. Retrieved from <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2636900&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
17. Morrison, A., Diesmann, M., & Gerstner, W. (2008). Phenomenological models of synaptic plasticity based on spike timing. *Biological cybernetics*, 98(6), 459–78. doi:10.1007/s00422-008-0233-1

18. Tsodyks, M., Uziel, a, & Markram, H. (2000). Synchrony generation in recurrent networks with frequency-dependent synapses. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 20(1), RC50.

в) Интернет-ресурсы:

<http://www.scholarpedia.org/>

<http://www.nest-initiative.org/>

<http://www.neuron.yale.edu/neuron/>

<http://briansimulator.org>

<http://www.genesis-sim.org/GENESIS/>

<http://bluebrain.epfl.ch/>

[http://www.darpa.mil/Our\\_Work/DSO/Programs/Systems\\_of\\_Neuromorphic\\_Adaptive\\_Plastic\\_Scalable\\_Electronics\\_%28SYNAPSE%29.aspx](http://www.darpa.mil/Our_Work/DSO/Programs/Systems_of_Neuromorphic_Adaptive_Plastic_Scalable_Electronics_%28SYNAPSE%29.aspx)

<http://www.braincorporation.com/>

<ftp://sandyftp.sandyftp@ftp.sandy.ru/incoming/iapras/new/vvedtkv.pdf>

<http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/2010/117.pdf>

## 8. Вопросы для контроля.

1. Из чего состоит мозг, почему важно изучать принципы его работы?
2. В чём состоит роль математического моделирования в современной нейронауке?
3. Что такое потенциал Нернста,
4. Как вычисляется потенциал Нернста?
5. Как формируется потенциал покоя нейрона?
6. Классификация возбудимости и основные бифуркации, лежащие в основе разных типов возбудимости.
7. Какие подходы применяются к моделированию динамики нейронных сетей мозга?
8. Генерация потенциала действия в модели Ходжкина-Хаксли.
9. Фазовый портрет и свойства модели ФитцХью-Нагумо.
10. Фазовый портрет и свойства модели Ровата-Сельверстона.
11. Модели порогового интегратора и резонатора. Формулировка и основные свойства.
12. Модель адаптивного порогового интегратора. Формулировка и основные свойства.
13. Модель квадратичного порогового интегратора (динамические режимы и бифуркации)
14. Модель Ижикевича. Фазовый портрет, формулировка и основные свойства.
15. Какие подходы используются в моделировании синаптической нейропередачи?
16. Устройство синапса. Принципы синаптической нейропередачи. Классификация синаптической пластичности.
17. Какие бывают модели синапсов.
18. Модель Цодыкса-Маркрама.
19. Модели STDP.
20. Какие стандартные симуляторы для расчёта динамики нейронных сетей вам известны?
21. Какие задачи решаются с использованием параллельных вычислений на стандартных симуляторах динамики нейронов и нейронных сетей?
22. В чём суть численных методов решения обыкновенных дифференциальных уравнений?
23. Какие методы численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений вам известны?
24. Напишите интегратор и решите уравнения Ходжкина-Хаксли методом Рунге-Кутты на любом языке программирования по вашему усмотрению.
25. Какая особенность динамики спайковых нейронных сетей используется для возможности распараллеливания вычислений при компьютерном моделировании?
26. Какие современные проекты, связанные с крупномасштабным моделированием мозга

Вам известны? Расскажите подробнее про некоторые из них.

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

В учебном процессе необходимы:

1. Компьютер и проектор для презентаций.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО с учетом рекомендаций и ПрООП ВПО

по направлению подготовки

**010801 Радиофизика и электроника**

Автор к.ф.-м.н., ассистент каф теории колебаний и автоматического регулирования ННГУ им. Н.И. Лобачевского \_\_\_\_\_ А.Ю.Симонов

Программа одобрена на заседании каф теории колебаний и автоматического регулирования ННГУ им. Н.И. Лобачевского  
от \_\_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.

Заведующий каф теории колебаний и автоматического регулирования ННГУ им. Н.И. Лобачевского, д.ф.-м.н., проф. \_\_\_\_\_ В.В. Матросов

Программа одобрена на заседании Учёного совета радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского  
от \_\_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.