

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского»**

Институт биологии и биомедицины

(факультет / институт / филиал)

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«31» августа 2021 г. № 11

**Рабочая программа дисциплины  
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ И ОБУЧЕНИЯ В  
НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ МОЗГА**

Уровень высшего образования  
**Подготовка кадров высшей квалификации**

Направление подготовки  
**06.06.01 Биологические науки**

Направленность  
**03.01.02 Биофизика**

Квалификация  
**Исследователь. Преподаватель-исследователь**  
Форма обучения  
**Очная**

Нижний Новгород  
2021

## 1. Место дисциплины (модуля) в структуре основной образовательной программы (ОПОП)

Дисциплина «Моделирование пластичности и обучения в нейронных сетях мозга» относится к числу профессиональных дисциплин по выбору, изучается на 2 году обучения, в 3 семестре.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования. Для изучения дисциплины необходимы знания по математике и математическим методам в биологии, информатика, современные информационные технологии, физиология высшей нервной деятельности.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями выпускников)

### Цель освоения дисциплины.

Изучить основные правила обучения в формальных и биологически-подобных нейронных сетях, феноменологические модели нейронов (модель Ижикевича), модели краткосрочной (модель Цодыкса-Маркрама) и долгосрочной (STDP) синаптической пластичности.

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

**знать:** основные правила обучения в формальных и биологически-подобных нейронных сетях, феноменологические модели нейронов (модель Ижикевича), модели краткосрочной (модель Цодыкса-Маркрама) и долгосрочной (STDP) синаптической пластичности.

**уметь:** работать в программе-симуляторе нейронных сетей, изменять параметры моделей для достижения желаемых характеристик нейронной активности.

**владеть:** терминологией моделирования в нейробиологии.

В таблице 1 представлены компетенции, знания, умения и навыки, в формировании которых участвует дисциплина.

**Таблица 1**

### Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код и этап формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-3: способность использовать и развивать высокотехнологичные физико-химические методы и современные информационно-коммуникационных технологии при решении задач биологии и биомедицины	<b>ЗНАТЬ:</b> актуальные проблемы биологии и биомедицины; основные методы научно-исследовательской деятельности; основные методы физико-химического анализа, применяемые в биологии и биомедицине. <b>УМЕТЬ:</b> ставить задачу, планировать, выполнять биологические исследования, проводить критический анализ теоретического и практического значения полученных результатов <b>ВЛАДЕТЬ:</b>



**Таблица 3****Содержание дисциплины**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование раздела дисциплины</b>	<b>Содержание раздела</b>	<b>Форма проведен ия занятия</b>	<b>Форма текущего контроля*</b>
<b>1</b>	Обучение формальных нейронных сетей.	Схема работы формального нейрона. Однослойные и многослойные персептроны. Правила обучения сетей формальных нейронов. Обучение однослойного персептрона с помощью дельта-правила. Обучение многослойного персептрона с помощью алгоритма обратного распространения ошибки. Конкурентное обучение в сетях Кохонена и когнитронах. Успехи и ограничения применения сетей формальных нейронов.	семинар	Отчет по практической работе, устное обсуждение
<b>2</b>	Моделирование кратковременной синаптической пластичности в сетях с биологически-подобными моделями нейронов.	Феноменологические биологически-подобные модели нейронов на примере порогового интегрирующего нейрона и модели Ижикевича. Модель Цодыкса-Маркрама. Использование дельта-функции. Синаптическая депрессия и фасилитация.	семинар	Отчет по практической работе, устное обсуждение
<b>3</b>	Моделирование долговременной синаптической пластичности в виде STDP.	Парное правило STDP и его реализация с помощью локальных переменных. Мультипликативное и аддитивное правило изменения синаптических весов. Триpletное правило STDP. Потенциал-зависимое правило STDP.	семинар	Отчет по практической работе
<b>4</b>	Подходы к обучению нейронных сетей, выращиваемых in vitro.	Обзор экспериментальных работ с мультиэлектродной матрицей. Нейроанимат. Сенсорный вход и моторный выход для сети in vitro. Сравнение подходов к обучению формальных и биологических нейронных сетей.	семинар	Отчет по практической работе

**4. Образовательные технологии**

Особенностью курса “Моделирование пластичности и обучения в нейронных сетях” является наличие практических интерактивных занятий. Выполняя различные задания, студенты с помощью компьютерной программы-симулятора нейронных сетей осваивают

знания различных моделей нейрональной пластичности. В одном из занятий студентам предлагается задание-игра по конфигурации нейронной сети, управляющей роботом-нейроаниматом.

Для выполнения практических заданий используется авторская программа-симулятор “ Программа моделирования биологических нейронных сетей (NeuroNet)” (Свидетельство №2012611188 о государственной регистрации программы для ЭВМ, 27.01.2012).

## 5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Формы и методы контроля и оценки результатов освоения модулей приведены в таблице:

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Обучение формальных нейронных сетей	участие в устном обсуждении, выполнение практического задания в программе искусственных (формальных) нейронных сетей.	отчет по практической работе в виде оформленного решения задачи классификации с помощью искусственной нейронной сети, устное обсуждение
Моделирование кратковременной синаптической пластичности в сетях с биологически-подобными моделями нейронов.	участие в устном обсуждении, выполнение практического задания в программе искусственных (формальных) нейронных сетей.	отчет по практической работе, содержащий значение найденных параметров уравнений, при которых модель демонстрирует фасилитацию и депрессию, устное обсуждение
Моделирование долговременной синаптической пластичности в виде STDP.	обзорное знакомство с многообразием типов STDP.	проверочная работа
Подходы к обучению нейронных сетей, выращиваемых <i>in vitro</i> .	выполнение практического задания с роботом, управляемым модельными нейронами (нейроаниматом)	отчет по практической работе, содержащей описание задачи, краткую методику и схему сопряжения виртуальной нейронной сети с роботом.

## 6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

*а. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования*

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведен в приложении 1.

*б. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания*

Отлично	Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с небольшими ошибками.
---------	--

Хорошо	Хорошая подготовка, но со значительными ошибками.
Удовлетворительно	Подготовка удовлетворяет минимальным требованиям.
Не удовлетворительно	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания. Пропущены некоторые научно-практические занятия.
Плохо	Подготовка совершенно недостаточная. Частые пропуски научно-практических занятий.

Экзамен сдается устно. На нем проверяются знания по двум из вопросов общего списка. Для допуска к экзамену необходимо активное участие в работе на семинарских занятиях, выполнение заданий, предназначенных для самостоятельной работы.

*с.      **Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.***

**Вопросы к устному обсуждению по теме «Обучение формальных нейронных сетей»**

1. Каким образом можно сформулировать логическую задачу для решения ее нейронной сетью?
2. Каким образом можно сформулировать задачу аппроксимации для решения ее нейронной сетью?
3. Каким образом можно сформулировать задачу прогнозирования для решения ее нейронной сетью?
4. Можно ли при обучении импульсных нейронных сетей использовать правила обучения, применяемые в сетях формальных нейронов?

**Вопросы к устному обсуждению по теме «Моделирование кратковременной синаптической пластичности в сетях с биологически-подобными моделями нейронов»**

1. Можно ли наблюдать депрессию или фасилитацию при межимпульсном интервале, значительно превышающим характерное время в уравнениях, описывающих кратковременную пластичность?
2. Какой ключевой параметр для депрессии?
3. Какой ключевой параметр для фасилитации?
4. Можно ли при одних и тех же параметрах получить эффект фасилитации и депрессии?

**Вопросы к проверочной работе по теме Моделирование долговременной синаптической пластичности в виде STDP**

1. Парное правило STDP и его реализация с помощью локальных переменных.
2. Мультипликативное и аддитивное правило изменения синаптических весов.
3. Триплетное правило STDP.
4. Потенциал-зависимое правило STDP.

**Задания для практических работ** (Для выполнения практических заданий используется авторская программа-симулятор “Программа моделирования биологических нейронных сетей (NeuroNet)”)

1. Выполнить классификацию нейронных сетей
2. Найти параметры уравнений, при которых модель демонстрирует фасилитацию и

депрессию

3. Выполнить сопряжение виртуальной нейронной сети с роботом

**Вопросы к зачету по дисциплине “Синаптическая пластичность в модельных нейронных сетях мозга”**

1. Схема работы формального нейрона.
2. Однослойные и многослойные персептроны.
3. Правила обучения сетей формальных нейронов.
4. Обучение однослойного персептрона с помощью дельта-правила.
5. Обучение многослойного персептрона с помощью алгоритма обратного распространения ошибки.
6. Конкурентное обучение в сетях Кохонена и когнитронах. Успехи и ограничения применения сетей формальных нейронов.
7. Феноменологические биологически-подобные модели нейронов на примере порогового интегрирующего нейрона и модели Ижикевича.
8. Модель Markram–Tsodykst. Использование дельта-функции.
9. Синаптическая депрессия и фасилитация.
10. Парное правило STDP и его реализация с помощью локальных переменных.
11. Мультипликативное и аддитивное правило изменения синаптических весов.
12. Триpletное правило STDP.
13. Потенциал-зависимое правило STDP.
14. Обзор экспериментальных работ с мультиэлектродной матрицей.
15. Нейроанимат.
16. Сенсорный вход и моторный выход для сети in vitro.
17. Сравнение подходов к обучению формальных и биологических нейронных сетей.

По решению преподавателя для оценки знаний по компетенциям курса могут использоваться тесты (*полный перечень заданий приводится в приложении 2 ФОС*).

**Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.**

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 12.02.2014 №55-ОД.

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

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

а) основная литература:

1. Короновский А.А., Храмов А.Е. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 176 с (<http://www.studentlibrary.ru/book/5-9221-0389-X.html>)
2. Нейронные сети: основы теории [Электронный ресурс] / Галушкин А.И. - М. : Горячая линия - Телеком, 2012. (<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991200820.html>)

б) дополнительная литература

1. S. Lobov, A. Simonov, I. Kastalskiy V. Kazantsev Network response synchronization enhanced by synaptic plasticity. Eur. Phys. J. Special Topics, 225 1 (2016) 29-39 DOI: <http://dx.doi.org/10.1140/epjst/e2016-02614-y>
2. Morrison A, Diesmann M, Gerstner W. (2008) Phenomenological models of synaptic plasticity based on spike timing. Biol Cybern. 98(6):459-78 ([http://www.uic.unn.ru/~pris/study/neuro/2008 Phenomenological models of synaptic pl](http://www.uic.unn.ru/~pris/study/neuro/2008_Phenomenological_models_of_synaptic_pl))

[asticity based on spike timing Morrison.pdf](#))

Интернет-ресурсы:

1. [http://www.scholarpedia.org/article/Models\\_of\\_synaptic\\_plasticity](http://www.scholarpedia.org/article/Models_of_synaptic_plasticity)
2. <http://www.scholarpedia.org/article/STDP>
3. <http://www.pirobot.org/blog/0007>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения занятий семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектованные специализированной мебелью и техническими средствами обучения (демонстрационное оборудование – проектор, ноутбук, экран). Помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 06.06.01 Биологические науки, направленность подготовки 03.01.02 Биофизика (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Автор \_\_\_\_\_ Лобов С.А.

Рецензент (ы) \_\_\_\_\_ Ведунова М.В.

Заведующий кафедрой нейротехнологий \_\_\_\_\_ Воденеев В.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института ИББМ от 30 августа 2021 года, протокол №1.



**Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина  
ПК-3: способность использовать и развивать высокотехнологичные физико-химические методы и современные информационно-коммуникационных технологии при решении задач биологии и биомедицины**

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ВЛАДЕТЬ: навыками выбора методов и средств для решения задач биологии и биомедицины	Отсутствие навыка	Фрагментарное применение навыков выбора методов и средств для решения задач биологии и биомедицины	В целом успешное, но не систематическое применение навыков выбора методов и средств для решения задач биологии и биомедицины	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков выбора методов и средств для решения задач биологии и биомедицины	Успешное и систематическое применение навыков выбора методов и средств для решения задач биологии и биомедицины
ВЛАДЕТЬ: навыками самостоятельного освоения новых методов и средств для решения задач в области биологии и биомедицины	Отсутствие навыка	Фрагментарное применение навыков самостоятельного освоения новых методов и средств для решения задач в области биологии и биомедицины	В целом успешное, но не систематическое применение навыков самостоятельного освоения новых методов и средств для решения задач в области биологии и биомедицины	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков самостоятельного освоения новых методов и средств для решения задач в области биологии и биомедицины	Успешное и систематическое применение навыков самостоятельного освоения новых методов и средств для решения задач в области биологии и биомедицины
ВЛАДЕТЬ: навыками адаптации и развития существующих физико-химических методов и информационно-коммуникационных технологий с целью решения задач биологии и биомедицины	Отсутствие навыка	Фрагментарное применение навыков адаптации и развития существующих физико-химических методов и информационно-коммуникационных технологий с целью решения задач биологии и биомедицины	В целом успешное, но не систематическое применение навыков адаптации и развития существующих физико-химических методов и информационно-коммуникационных технологий с целью решения задач биологии и биомедицины	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков адаптации и развития существующих физико-химических методов и информационно-коммуникационных технологий с целью решения задач биологии и биомедицины	Успешное и систематическое применение навыков адаптации и развития существующих физико-химических методов и информационно-коммуникационных технологий с целью решения задач биологии и биомедицины
УМЕТЬ анализировать альтернативные подходы и методы при решении задач биологии и биомедицины и оценивать потенциальные	Отсутствие умения	Частично освоенное умение анализировать альтернативные подходы и методы при решении задач	В целом успешное, но не систематическое умение анализировать альтернативные подходы и методы при решении задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение анализировать альтернативные подходы и методы при решении задач	Успешное и систематическое умение анализировать альтернативные подходы и методы при решении задач биологии и биомедицины

выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов		биологии и биомедицины и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	задач биологии и биомедицины и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	биологии и биомедицины и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	биомедицины и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов
УМЕТЬ критически анализировать и сопоставлять научные результаты, получены при использовании различных методов и подходов с целью получения целостного представления об исследуемом объекте	Отсутствие умений	Частично освоенное умение критически анализировать и сопоставлять научные результаты, получены при использовании различных методов и подходов с целью получения целостного представления об исследуемом объекте	В целом успешное, но не систематическое умение критически анализировать и сопоставлять научные результаты, получены при использовании различных методов и подходов с целью получения целостного представления об исследуемом объекте	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение критически анализировать и сопоставлять научные результаты, получены при использовании различных методов и подходов с целью получения целостного представления об исследуемом объекте	Успешное и систематическое умение критически анализировать и сопоставлять научные результаты, получены при использовании различных методов и подходов с целью получения целостного представления об исследуемом объекте
ЗНАТЬ принципы основных применяемых в биологии и биомедицине физико-химических методов и подходов, область их применения и ограничения	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания принципов основных применяемых в биологии и биомедицине физико-химических методов и подходов, область их применения и ограничения	Неполные знания принципов основных применяемых в биологии и биомедицине физико-химических методов и подходов, область их применения и ограничения	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания принципов основных применяемых в биологии и биомедицине физико-химических методов и подходов, область их применения и ограничения	Сформированные и систематические знания принципов основных применяемых в биологии и биомедицине физико-химических методов и подходов, область их применения и ограничения
ЗНАТЬ современные информационно-коммуникационных технологии, применяемые для решения задач биологии и биомедицины	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания современных информационно-коммуникационных технологий, применяемых для решения задач биологии и биомедицины	Неполные знания современных информационно-коммуникационных технологий, применяемых для решения задач биологии и биомедицины	Сформированные, но современных информационно-коммуникационных технологий, применяемых для решения задач биологии и биомедицины	Сформированные и современных информационно-коммуникационных технологий, применяемых для решения задач биологии и биомедицины