

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«30» ноября 2022 г. № 13

Рабочая программа дисциплины

Математические методы нейродинамики

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки
01.03.02 Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы
Прикладная математика и информатика (общий профиль)

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

2023

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений. Код дисциплины Б1.В.ДВ.08.06 «Математические методы нейродинамики»

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.08.06 «Математические методы нейродинамики» относится к части ООП направления подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика», формируемой участниками образовательных отношений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-13. Способен участвовать в исследовании математических моделей в естественных науках и технике	ПК-13.1. Знает методы создания, анализа и исследования математических моделей в естественных науках и технике	<i>Знает методы численного анализа поведения нейрноподобных систем: получения бифуркационных границ в пространстве параметров изолированных элементов, численного определения границ различных режимов синхронного поведения элементов в сети</i>	<i>собеседование</i>
	ПК-13.2. Знает математические методы обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований	<i>Знает математические методы обработки статистических данных: построение и анализ гистограмм, средних, оценка разброса значений выборки</i>	<i>собеседование</i>
	ПК-13.3. Умеет корректно использовать методы создания, анализа и исследования математических моделей, умеет применять	<i>Умеет применять теоретические знания для решения типовых задач по определению устойчивости режимов равновесного поведения, выявлять бифуркационные механизмы, определяющие смену режимов поведения, использовать критерии установления синхронных колебаний при рассмотрении</i>	<i>Задания</i>

	численные и аналитические методы решения базовых математических задач и классических задач естествознания в практической деятельности	конкретных примеров сетей.	
	ПК-13.4. Владеет навыками использования математических методов обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований	Владеет методами численного анализа поведения нейрноподобных систем, графическими методами представления полученных результатов	Задания

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	33
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	16
- занятия лабораторного типа	
- текущий контроль (КСР)	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация – зачет	

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы. Из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Нейродинамика: предмет и методы исследования	11	1	1		2	9
Классификация типов поведения нейрноподобных систем	20	5	5		10	10
Влияние случайных и детерминированных сигналов на отклик нейродинамических систем	20	5	5		10	10

Моделирование нейросетевой активности	20	5	5		10	10
Текущий контроль (КСР)	1				1	
Промежуточная аттестация – зачет						
Итого	72	16	16		33	39

Текущий контроль успеваемости реализуется в форме опросов на занятиях семинарского типа. Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачет).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Математические методы нейродинамики» включает выполнение заданий под контролем преподавателя, решение домашних заданий и подготовку к зачету.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

5.1 Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность	При решении стандартных задач не продемонстрированы	Имеется минимальный набор навыков для	Продemonстрированы базовые навыки при	Продemonстрированы базовые навыки при	Продemonстрированы навыки при решении	Продemonстрирован творческий подход к

	ть оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	ированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	решения стандартных задач с некоторыми недочетами.	решении стандартных задач с некоторыми недочетами	решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	нестандартных задач без ошибок и недочетов.	решению нестандартных задач.
--	---	--	--	---	---	---	------------------------------

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1 Контрольные вопросы

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Основные функциональные и морфологические свойства биологических нейронов.	ПК-13
2. Ионные механизмы, отвечающие за генерацию потенциалов действия.	ПК-13
3. Особенности межклеточной передачи биоэлектрических импульсов.	ПК-13
4. Модели математического описания динамики нейронов (примеры, свойства).	ПК-13
5. Методы определения локальной и глобальной устойчивости равновесных состояний.	ПК-13
6. Диссипативность систем.	ПК-13
7. Механизмы возникновения тонической активности (бифуркации).	ПК-13

8. Генерация сложных пачечных колебаний (бифуркации).	ПК-13
9. Хаос в нейродинамических системах (пример системы, метод диагностики).	ПК-13
10. Эффект резонансной активации (определение, пример).	ПК-13
11. Когерентный резонанс (определение, пример).	ПК-13
12. Стохастический резонанс (определение, пример).	ПК-13
13. Эффект индуцированного шумом увеличения времени возникновения отклика (определение, пример).	ПК-13
14. Режимы синхронной генерации (полная, частичная, фазовая и др. типы синхронного поведения).	ПК-13
15. Методы, связанные с вычислением собственных значений матрицы связи и основной функции стабильности,	ПК-13
16. Метод связного графа.	ПК-13

5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-13

Задание 1

Показать диссипативность системы Хиндмарша-Роуза:

$$\frac{dv}{dt} = w - v^3 + 3v^2 + I - y,$$

$$\frac{dw}{dt} = c - 5v^2 - w, \quad \frac{dy}{dt} = \mu[s(v + v_0) - y].$$

Задание 2

Построить фазовый портрет системы ФитцХью-Нагумо $\begin{cases} \dot{x} = x - x^3/3 - y \\ \dot{y} = \varepsilon(x + a) \end{cases}$, $\varepsilon=0.1, a=1.1$.

Задание 3.

Показать наличие индуцированного шумом эффекта увеличения времени возникновения отклика в системе ФитцХью-Нагумо

$$\begin{cases} \dot{x} = x - x^3/3 - y + A \sin \omega t + \sqrt{D} \xi(t) \\ \dot{y} = \varepsilon(x + a) \end{cases}, \quad \varepsilon=0.1, a=1.1$$

Задание 4.

Методом связного графа получить условие полной синхронизации в цепочке, состоящей из n систем Хиндмарш-Розе. Проверить полученное условие численно.

Выполнение заданий, приведенных в методическом пособии:

Панкратова Е.В. Синхронизация хаотических колебательных процессов в сетях нейродинамических элементов: Учебно-методическое пособие, 2017. 54 с. Рег.№ 1647.17.06

http://www.unn.ru/books/met_files/chaos.pdf

Задание 1.

Какие аттракторы существуют в фазовом пространстве автономной классической модели Ходжкина-Хаксли (т.е. для параметров, указанных в п. 1.1.3. методического пособия) при изменении параметра постоянного тока I_{ext} в интервале от 0 до 20? Какие бифуркации определяют рождение/исчезновение этих аттракторов?

Задание 2.

В результате численного интегрирования системы ФитцХью-Ринцеля для параметра c получить интервал значений (c_1, c_2) , внутри которого наблюдается хаотическая динамика.

Задание 3.

В результате численного интегрирования системы Хиндмарша-Роуза для параметра I получить интервал значений (I_1, I_2) , внутри которого наблюдается хаотическая динамика.

Задание 4.

Двумя различными способами определить порог полной хаотической синхронизации системы двух связанных элементов ФитцХью-Ринцеля.

$$\begin{aligned}\dot{v}_1 &= v_1 - v_1^3/3 - w_1 + y_1 + \varepsilon(v_2 - v_1), \\ \dot{w}_1 &= \delta(v_1 - bw_1), \\ \dot{y}_1 &= \mu(c - v_1 - dy_1), \\ \dot{v}_2 &= v_2 - v_2^3/3 - w_2 + y_2, \\ \dot{w}_2 &= \delta(v_2 - bw_2), \\ \dot{y}_2 &= \mu(c - v_2 - dy_2).\end{aligned}$$

Задание 5.

Двумя различными способами определить порог полной хаотической синхронизации системы двух связанных элементов ФитцХью-Ринцеля:

$$\begin{aligned}\dot{v}_1 &= v_1 - v_1^3/3 - w_1 + y_1 + \varepsilon(v_2 - v_1), \\ \dot{w}_1 &= \delta(v_1 - bw_1), \\ \dot{y}_1 &= \mu(c - v_1 - dy_1), \\ \dot{v}_2 &= v_2 - v_2^3/3 - w_2 + y_2 + \varepsilon(v_1 - v_2), \\ \dot{w}_2 &= \delta(v_2 - bw_2), \\ \dot{y}_2 &= \mu(c - v_2 - dy_2).\end{aligned}$$

Задание 6.

Получить изменение спектра ляпуновских характеристических показателей при увеличении интенсивности шума D в системе двух связанных элементов Хиндмарша-Роуза:

$$\begin{aligned}\dot{v}_1 &= w_1 - v_1^3 + 3v_1^2 + I - y_1 + \xi(t), \\ \dot{w}_1 &= c - 5v_1^2 - w_1, \\ \dot{y}_1 &= \mu[4(v_1 + 1.3) - y_1], \\ \dot{v}_2 &= w_2 - v_2^3 + 3v_2^2 + I - y_2 + \xi(t), \\ \dot{w}_2 &= c - 5v_2^2 - w_2, \\ \dot{y}_2 &= \mu[4(v_2 + 1.3) - y_2],\end{aligned}$$

где общая шумовая компонента $\xi(t)$ (общее шумовое поле) моделируется белым гауссовым процессом с нулевым средним $\langle \xi(t) \rangle = 0$ и корреляционной функцией $\langle \xi(t)\xi(t + \tau) \rangle = D\delta(\tau)$.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Панкратова Е.В. Синхронизация хаотических колебательных процессов в сетях нейродинамических элементов: Учебно-методическое пособие, 2017. 54 с. Рег.№ 1647.17.06
http://www.unn.ru/books/met_files/chaos.pdf
2. А.Б. Рубин. Биофизика: В 2 т. Т. 1: Теоретическая биофизика: Учебник. - 3-е изд. / А.Б. Рубин. - М.: Изд-во МГУ; изд-во "Наука", 2004. - 448 с. (режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/10122#authors>)
3. В.И. Некоркин. Лекции по основам теории колебаний. Учебное пособие. - Нижний Новгород: издательство Нижегородского госуниверситета, 2012. - 311 с. (149 экз.)

б) дополнительная литература:

1. А. Пиковский, М. Розенблюм, Ю. Куртс. Синхронизация: Фундаментальное нелинейное явление. - М: Техносфера, 2003. - 496 с. (23 экз.)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

http://www.df.unipi.it/~mannella/papers/algorithms/SDE_on_a_computer.pdf

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного и семинарского типа), оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

Автор: к.ф.-м.н., доц. каф. прикладной математики Панкратова Е.В.

Рецензент: д.т.н., профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева Ломакина Л.С.

Зав. каф. прикладной математики: д.ф.-м.н. Иванченко М.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики

от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.