


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»  
Кафедра компьютерных сетей

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета ИВТ

 Д.Ю. Чалый

« 24 » \_\_\_\_\_ мая \_\_\_\_\_ 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
«Модели нейродинамики»

**Научная специальность**

2.3.5 Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

**Форма обучения**

очная

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры  
от 15 марта 2022 г.,  
протокол № 8

Ярославль

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями дисциплины «Модели нейродинамики» является ознакомление аспирантов с ключевыми методами нейродинамики и их взаимосвязи с общими методами нелинейной динамики и математического моделирования.

Цели освоения дисциплины (модуля):

- формирование представления о способах и приемах математического моделирования нейронных ассоциаций
- формирование представления об асимптотических методах исследования нелинейных динамических систем;
- ознакомление аспирантов с важнейшими направлениями развития нейродинамики;
- формирование представления о методах исследования нелинейных динамических систем с хаотическим поведением;
- формирование способности к восприятию новых научных фактов и гипотез и использованию полученных знаний в процессе образования.

Для достижения поставленной цели предусматривается решение следующих воспитательных, образовательных, а также развивающих практические навыки задач:

- дать знания о современных асимптотических методах нейродинамики;
- ознакомить слушателей с последними достижениями математического моделирования в области нейродинамики;
- мотивировать интерес к наблюдению, анализу и обсуждению актуальных проблем нейродинамики;
- стимулировать самостоятельную аналитическую работу аспирантов.

## 2. Место дисциплины в структуре ОП аспирантуры

Дисциплина «Модели нейродинамики» относится к вариативной части (дисциплина по выбору) ОП аспирантуры.

Для освоения данной дисциплиной аспиранты должны обладать знаниями по математическому анализу и дифференциальным уравнениям в объеме стандартного университетского курса.

Дисциплина «Модели нейродинамики» способствует формированию мировоззрения и развитию математического мышления, а также дальнейшему развитию навыков научно-исследовательской деятельности. Предполагаемое данным курсом освещение центральных тем, базовых понятий и методов современного математического моделирования закладывает основы для более детального изучения и понимания широкого круга специальных вопросов в рамках профильной подготовки по дисциплинам вариативной части профессионального цикла.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП аспирантуры

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формулировка компетенции	Перечень планируемых результатов обучения
способностью разрабатывать новые математические модели объектов и явлений, развивать аналитические и приближенные методы их исследования, выполнять	<b>Знать:</b> общие принципы построения математических моделей в нейродинамике, идею метода сведения для сингулярно возмущенных

реализацию эффективных вычислительных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента	динамических систем <b>Уметь:</b> пользоваться методами большого параметра для анализа моделей электрической активности нервных клеток <b>Владеть:</b> навыками методологически грамотного осмысления конкретно-научных проблем.
---	--

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зач. ед., 108 акад. час.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу аспирантов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1.	Раздел 1. Модель отдельного нейрона	2	2					15	Самостоятельная работа
2.	Раздел 2. Модель взаимодействия нейронов	2	2					15	Самостоятельная работа
3.	Раздел 3. Модель распространения волн в кольцевых нейронных структурах с химическими синапсами	2	2					15	Контрольная работа
4.	Раздел 4. Модель самоорганизации колебаний в кольцевой системе из однородных нейронных модулей	2	2					15	Самостоятельная работа
5.	Раздел 5. Модель	2	2					15	Самостоятельная

	адаптации нейронных ансамблей							работа
6.	Раздел 6. Модель нейронной системы с диффузионным взаимодействием элементов	2	2			2	19	Контрольная работа
	<b>Всего</b>		<b>12</b>			<b>2</b>	<b>94</b>	<b>Зачет</b>

### Содержание разделов дисциплины:

#### Раздел 1. Модель отдельного нейрона

1. Неформальное описание процессов электрической активности нейрона и многообразие моделей феномена
2. Природа мембранного потенциала
3. Натриево-калиевый цикл
4. Система уравнений Ходжкина–Хаксли
5. Феноменологический вывод уравнения с запаздыванием для нейрона
6. Асимптотический анализ уравнения нейрона

#### Раздел 2. Модель взаимодействия нейронов

7. Реакция на электрическое воздействие
8. Модель электрического синапса
9. Модель химического синапса

#### Раздел 3. Модель распространения волн в кольцевых нейронных структурах с химическими синапсами

10. Модель популяции нейронов, связанных химическими синапсами
11. Модель кольцевой структуры из четырех нейронов
12. Модель кольцевой структуры из N нейронов

#### Раздел 4. Модель самоорганизации колебаний в кольцевой системе из однородных нейронных модулей

13. Модель воздействия на нейрон пачки спайков
14. Модель воздействия пачки спайков на систему двух нейронов
15. Архитектура и уравнения нейронной сети с модульной организацией
16. Алгоритм асимптотического интегрирования системы уравнений нейронной сети с кольцевой модульной организацией

#### Раздел 5. Модель адаптации нейронных ансамблей

17. Модель адаптации отдельных нейронов
18. Модель адаптации кольцевой нейронной структуры.

## **Раздел 6. Модель нейронной системы с диффузионным взаимодействием элементов**

19. Колебания в системах диффузионно-связанных уравнений, моделирующих локальные нейронные сети
20. Колебания в системе из двух нейронов
21. Колебания в системе из трех нейронов
22. Некоторые структуры колебаний в нейронной сети на плоскости.
23. Структура колебаний в полносвязной сети диффузионно взаимодействующих нейронов

### **5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует аспиранта в системе изучения данной дисциплины. Аспиранты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

### **6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

В преподавании курса используются активные и интерактивные технологии проведения занятий в сочетании с активной внеаудиторной работой.

При проведении лекционных и лабораторных занятий по курсу «Модели нейродинамики» используется разработанный на кафедре математического моделирования и кафедре компьютерных сетей специальный программный комплекс Tracer3, предназначенный для иллюстрации и исследования систем обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений с запаздывающим аргументом. Программа Tracer3 позволяет численно решать достаточно широкий класс систем обыкновенных дифференциальных уравнений, отображений и уравнений с запаздываниями. Условно программу можно разбить на три основные алгоритмические части: компилятор математических выражений, построитель фазовых портретов и вычислитель ляпуновских показателей.

Для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

а) основная:

1. Глызин С.Д., Колесов А.Ю. Релаксационные автоколебания в нейронных системах: учебное пособие. – Ярославль: ЯрГУ, 2013. – 220 с.

б) дополнительная:

1. Гукенхеймер, Д. Нелинейные колебания, динамические системы и бифуркации векторных полей / Д. Гукенхеймер, Ф. Холмс. – Москва-Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2002.
2. Глызин, С.Д. Асимптотические методы нелинейной динамики: учебное пособие / С.Д. Глызин, А.Ю. Колесов; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль: ЯрГУ, 2006.
3. Глызин С.Д., Колесов А.Ю. Метод квазинормальных форм: учебное пособие. – Ярославль: ЯрГУ, 2011. – 106 с.
4. Шильников, Л. П. Методы качественной теории в нелинейной динамике. Ч. 1. / Л. П. Шильников, А. Л. Шильников, Д. В. Тураев, Л. Чуа. – Москва - Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004.
5. Малинецкий, Г.Г. Современные проблемы нелинейной динамики. / Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов. – М.: УРСС, 2002.
6. Мищенко, Е. Ф. Периодические движения и бифуркационные процессы в сингулярно возмущенных системах. / Е. Ф. Мищенко, Ю. С. Колесов, А. Ю. Колесов, Н. Х.Розов. – М.: Наука, 1995.

в) ресурсы сети «Интернет»

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

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

электронная библиотека <http://www.elibrary.ru>

портал <http://mathnet.ru>

Издательство «Лань»

ELSEVIER (Доступ с ПК университета)

## **8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

- специальные помещения:

-учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа и практических занятий (семинаров);

- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,

- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;

-помещения для самостоятельной работы;

-помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока.

- фонд библиотеки.
- компьютерная техника.

**Автор(ы) :**

Зав. кафедрой компьютерных сетей,  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_ С.Д. Глызин

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Модели нейродинамики»  
Фонд оценочных средств  
для проведения текущей и промежуточной аттестации аспирантов  
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1. Контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе текущей аттестации**

**Задания для самостоятельной работы**

№	Система	Неподвижные точки	Ляпуновские экспоненты	Размерность
1	$\dot{x} = y$ $\dot{y} = -x + yz$ $\dot{z} = 1 - y^2$	Отсутствуют	0.014, 0, -0.014	3.000
2	$\dot{x} = yz$ $\dot{y} = x - y$ $\dot{z} = 1 - xy$	(1, 1, 0), (-1, -1, 0)	0.210, 0, -1.210	2.174
3	$\dot{x} = yz$ $\dot{y} = x - y$ $\dot{z} = 1 - x^2$	(1, 1, 0), (-1, -1, 0)	0.163, 0, -1.163	2.140
4	$\dot{x} = -y$ $\dot{y} = x + z$ $\dot{z} = xz + 3y^2$	(0,0,0)	0.103, 0, -1.320	2.078
5	$\dot{x} = yz$ $\dot{y} = x^2 - y$ $\dot{z} = 1 - 4x$	(0.25,0.063,0)	0.078, 0, -1.078	2.072
6	$\dot{x} = y + z$ $\dot{y} = -x + 0.5y$ $\dot{z} = x^2 - z$	(0, 0, 0), (-2, -4, -4)	0.117, 0, -0.617	2.190
7	$\dot{x} = 0.4x + z$ $\dot{y} = xz - y$ $\dot{z} = -x + y$	(0, 0, 0), (-2.5, -2.5, 1)	0.034, 0, -0.634	2.054
8	$\dot{x} = -y + z^2$ $\dot{y} = x + 0.5y$ $\dot{z} = x - z$	(0, 0, 0), (-2, -4, -2)	0.117, 0, -0.617	2.190
9	$\dot{x} = -0.2y$ $\dot{y} = x + z$ $\dot{z} = x - z + y^2$	(0,0,0)	0.012, 0, -1.012	2.012



№	Система	Неподвижные точки	Ляпуновские экспоненты	Размерность
10	$\dot{x} = -2z$ $\dot{y} = -2y + z$ $\dot{z} = -x + y + y^2$	(0,0,0)	0.076, 0, -1.076	2.037
11	$\dot{x} = xy - z$ $\dot{y} = x - y$ $\dot{z} = x + 0.3z$	(0, 0, 0), $\frac{1}{9}(30, 30, 100)$	0.038, 0, -0.890	2.042
12	$\dot{x} = y + 3.9z$ $\dot{y} = 0.9x^2 - y$ $\dot{z} = 1 - x$	(1,0.9,-0.231)	0.061, 0, -1.061	2.057
13	$\dot{x} = -z$ $\dot{y} = -x^2 - y$ $\dot{z} = 1.7(1 + x) + y$	(2.406, -5.791, 0), (-0.706, -0.5, 0)	0.044, 0, -1.044	2.042
14	$\dot{x} = -2y$ $\dot{y} = x + z^2$ $\dot{z} = 1 + y - 2z$	(-0.25,0,0.5)	0.076, 0, -2.076	2.037
15	$\dot{x} = y$ $\dot{y} = x - z$ $\dot{z} = x + xz + 2.7y$	(0, 0, 0), (-1, 0, -1)	0.049, 0, -0.319	2.154
16	$\dot{x} = 2.7y + z$ $\dot{y} = -x + y^2$ $\dot{z} = x + y$	(0, 0, 0), (1, -1, 2.7)	0.087, 0, -0.481	2.181
17	$\dot{x} = -z$ $\dot{y} = x - y$ $\dot{z} = 3.1x + y^2 + 0.5z$	(0, 0, 0), (-3.1, -3.1, 0)	0.109, 0, -0.609	2.179
18	$\dot{x} = 0.9 - y$ $\dot{y} = 0.4 + z$ $\dot{z} = xy - z$	( $-\frac{4}{9}$ , 0.9, -0.4)	0.062, 0, -1.062	2.058
19	$\dot{x} = -x - 4y$ $\dot{y} = x + z^2$ $\dot{z} = 1 + x$	(-1, 1/4, 1), (-1, 1/4, -1)	0.188, 0, -1.188	2.151

#### Критерии выставления оценок

Оценка «**отлично**» (компетенция сформирована на высоком уровне):

- Все задания решены верно,
- Оформлены по требованиям,
- Решение изложено достаточно полно и чётко.
- Даны правильные формулировки, точные определения, понятия терминов.
- Студент может обосновать свой ответ, привести необходимые примеры;
- Правильно отвечает на дополнительные вопросы преподавателя.

- Оценка «**хорошо**» (компетенция сформирована на продвинутом уровне):
- } Все задания решены верно,
  - } Оформлены по требованиям,
  - } Но, решение изложено недостаточно полно и чётко (не менее 70 % от полного)
  - } При изложении были допущены 1-2 несущественные ошибки;
  - } Даны правильные формулировки, точные определения, понятия терминов;
  - } Студент может обосновать свой ответ, привести необходимые примеры;
  - } Однако, есть затруднения при ответах на вопросы преподавателя.
- Оценка «**удовлетворительно**» (компетенция сформирована на пороговом уровне)::
- } Более половины заданий решены верно,
  - } Все задания оформлены по требованиям,
  - } Решение изложено недостаточно полно и чётко (не менее 70 % от полного), при изложении некоторых заданий допущена 1 существенная ошибка, приводящая к неверному ответу.
  - } Студент знает и понимает основные положения данной темы, но допускает неточности в формулировки понятий;
  - } излагает выполнение задания недостаточно логично и последовательно;
  - } затрудняется при ответах на вопросы преподавателя.
- Оценка «**неудовлетворительно**» (компетенция практически не сформирована):
- } Более половины заданий решены неверно,
  - } Решение изложено неполно и нечётко (менее 50 % от полного), при изложении многих задач были допущены существенные ошибки, приводящая к неверному ответу.
  - } Студент не знает или не понимает основные положения данной темы, затрудняется при ответах на вопросы преподавателя.

## Типовые индивидуальные задания

### 5.4.1. Модельные электронные схемы Спротта (см. [34])

**Таблица 2**

№	Система	Начальные условия ( $x, \dot{x}, \ddot{x}$ )	Ляпуновские экспоненты
1	$\ddot{x} = -2.017\ddot{x} \pm \dot{x}^2 - x$	(0, 0, $\pm 1$ )	0.055, 0, -2.072
2	$\ddot{x} = -2.8\dot{x} \pm x + x^2$	( $\pm 0.5, -1, 1$ )	0.002, 0, -0.002
3	$\ddot{x} = -0.44\ddot{x} - 2\dot{x} \pm (x^2 - 1)$	(0, 0, 0)	0.105, 0, -0.545
4	$\ddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} \pm x \pm x^2$	(0, $\pm 1, 0$ )	0.094, 0, -0.594
5	$\ddot{x} = -2\dot{x} \pm ( x  - 1)$	$\pm(-1, -1, 1)$	0.003, 0, -0.003
6	$\ddot{x} = -0.6\ddot{x} - \dot{x} \pm ( x  - 1)$	(0, 0, 0)	0.036, 0, -0.636
7	$\ddot{x} = -0.3\ddot{x} - 0.3\dot{x} - D(x) + 1$	(0, 0, 0)	0.042, 0, -0.342
8	$\ddot{x} = -0.3\ddot{x} - 0.3\dot{x} - R(x) - 1$	(0, 0, 0)	0.042, 0, -0.342
9	$\ddot{x} = -2.9\dot{x} \pm (0.7x - D(x) + 1)$	$\pm(0, -0.5, 0.5)$	0.003, 0, -0.003
10	$\ddot{x} = -2.9\dot{x} \pm (0.7x - R(x) - 1)$	$\pm(0, 0.5, -0.5)$	0.003, 0, -0.003
11	$\ddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} - x + \text{sgn}(x)$	(0, 1, 0)	0.152, 0, -0.652
12	$\ddot{x} = -0.5\ddot{x} - \dot{x} + x - \text{sgn}(x)$	(0, 1, 0)	0.601, 0, -1.101
13	$\ddot{x} = -0.7\ddot{x} - \dot{x} - x + H(x)$	(0, 1, 0)	0.085, 0, -0.785
14	$\ddot{x} = -0.4\ddot{x} - \dot{x} - x + 2S(x)$	(0, 1, 0)	0.072, 0, -0.472
15	$\ddot{x} = -0.4\ddot{x} - \dot{x} + x - 2S(x)$	(0, 1, 0)	0.091, 0, -0.491
16	$\ddot{x} = -0.19\ddot{x} - \dot{x} - x + 2 \tanh(x)$	(0, 1, 0)	0.128, 0, -0.318
17	$\ddot{x} = -0.19\ddot{x} - \dot{x} + x - 2 \tanh(x)$	(0, 1, 0)	0.067, 0, -0.257
18	$\ddot{x} = -3.7\dot{x} \pm (x - x^3)$	(0, $\pm 0.5, 1$ )	0.002, 0, -0.002
19	$\ddot{x} = -0.6\ddot{x} + 2.8\dot{x} - \dot{x}^3 - x$	(0, 1, 0)	0.034, 0, -0.634
20	$\ddot{x} = -0.7\ddot{x} - \dot{x} + x - x^3$	(0, 1, 0)	0.138, 0, -0.838
21	$\ddot{x} = -0.35\ddot{x} - \dot{x} - x + x^3$	(0, 1, 0)	0.082, 0, -0.432
22	$\ddot{x} = -0.2\ddot{x} - \dot{x} \pm \sin(x)$	(0, 1, 0)	0.123, 0, -0.323

Принимая  $D(x) = \min(x, 0)$ ,  $R(x) = \max(x, 0)$ ,  $H(x) = (\text{sgn}(x)+1)/2$ ,  $S(x) = \text{sgn}(x) \min(|x|, 1)$ , определите числовые характеристики хаотических режимов соответствующих систем, постройте сечение Пуанкаре, убедитесь в его фрактальной структуре.

Выполните указанное задание для

а)  $G(x) = -\min(Bx, Cx + B - C)$ , примите значения параметров ( $B = 0.01, C = 1$ ) или ( $B = 0.5, C = 2$ )

б)  $G(x) = B|x| - 1$ , примите значения параметров  $B = 0.01, B = 0.5$  или  $R = 1$

### Критерии выставления оценок

Оценка «**отлично**» (компетенция сформирована на высоком уровне):

- задание решено верно,
- решение изложено достаточно полно и чётко.

Оценка «**хорошо**» (компетенция сформирована на продвинутом уровне):

- } Все задания решены верно,
- } Оформлены по требованиям,
- } Но, решение изложено недостаточно полно и чётко (не менее 70 % от полного)

Оценка «**удовлетворительно**» (компетенция сформирована на пороговом уровне)::

- } Более половины заданий решены верно,
- } Все задания оформлены по требованиям,
- } Решение изложено недостаточно полно и чётко (не менее 70 % от полного), при изложении некоторых заданий допущена 1 существенная ошибка, приводящая к неверному ответу.

Оценка «**неудовлетворительно**» (компетенция практически не сформирована):

- } Более половины заданий решены неверно,
- } Решение изложено неполно и нечётко (менее 50 % от полного), при изложении многих задач были допущены существенные ошибки, приводящая к неверному ответу.

## **Задания для контрольной работы**

**Задача 1.** *На плоскости параметров  $\alpha, \beta$  системы*

$$\begin{aligned}\dot{x} &= x - 2y + \alpha x(x^2 + y^2), \\ \dot{y} &= x - y + \beta xy - y(x^2 + y^2),\end{aligned}\tag{1.59}$$

*построить область, для которой реализуется бифуркация Андронова-Хопфа.*

**Задача 2.** *Определить положительные значения параметров системы Лоренца*

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma(y - x), \\ \dot{y} &= rx - y - xz, \\ \dot{z} &= -bz + xy,\end{aligned}\tag{1.60}$$

*при которых происходит бифуркация Андронова-Хопфа.*

$$\begin{aligned} z_1' &= \gamma_1 z_1 + (d_{11} z_1^2 + d_{12} z_2^2) z_1, \\ z_2' &= \gamma_2 z_2 + (d_{21} z_1^2 + d_{22} z_2^2) z_2, \end{aligned} \quad (1.65)$$

где  $\gamma_j = (A_1 a_j, b_j)$ ,  $d_{jk} = (F_3(a_j, a_k, a_k) + F_3(a_k, a_j, a_k) + F_3(a_k, a_k, a_j), b_j)$ ,  $d_{jj} = (F_3(a_j, a_j, a_j), b_j)$ ,  $j, k = 1, 2, j \neq k$ . Отметим, что функции  $z_j(\tau)$  в данном случае вещественные.

**Задача 3.** Выделите класс ненулевых квадратичных нелинейностей  $F_2(x, x)$ , для которых нормальная форма задачи (1.1), с нулевым собственным числом кратности два, имеет вид (1.65)

**Задача 4.** В предположении, что  $F_2(x, x) \neq 0$ , выполните в (1.1) замену

$$x = \varepsilon(z_1(\tau)a_1 + z_2(\tau)a_2) + \varepsilon^2 x_1(t, \tau) + \dots, \quad \tau = \varepsilon t. \quad (1.66)$$

С помощью замены (1.66) решите следующие задачи:

1. Постройте нормальную форму задачи (1.1).
2. Найдите состояния равновесия полученной нормальной формы и исследуйте их на устойчивость.

**Задача 5.** В предположении, что  $F_2(x, x) \neq 0$ , выполните в (1.1) замену

$$x = \varepsilon(z_1(\tau)a_1 + z_2(\tau)e^{i\omega t}a_2 + \bar{z}_2(\tau)e^{-i\omega t}\bar{a}_2) + \varepsilon^2 x_1(t, \tau) + \dots, \quad \tau = \varepsilon t. \quad (1.71)$$

С помощью замены (1.71) решите следующие задачи:

1. Постройте нормальную форму задачи (1.1).
2. Найдите состояния равновесия полученной нормальной формы и исследуйте их на устойчивость.

$$\begin{aligned} \dot{\xi}_1 &= \gamma_{11}\xi_1 + k_1\xi_1\xi_2 \cos(\psi + \delta_1) + (b_{11}\xi_1^2 + b_{12}\xi_2^2)\xi_1, \\ \dot{\xi}_2 &= \gamma_{21}\xi_2 + k_2\xi_2\xi_1 \cos(\psi - \delta_2) + (b_{21}\xi_1^2 + b_{22}\xi_2^2)\xi_2, \\ \dot{\psi}_1 &= \delta - 2k_1\xi_2 \sin(\psi + \delta_1) - k_2\xi_2 \sin(\psi - \delta_2) + c_1\xi_1^2 + c_2\xi_2^2, \end{aligned} \quad (1.99)$$

**Задача 6.** Найти состояния равновесия системы (1.99) и исследовать их на устойчивость.

**Задача 7.** При фиксированных значениях параметров численно построить устойчивые траектории системы (1.99).

**Задача 8.** Изучить численными методами изменения фазового портрета системы (1.99) при изменении одного из ее параметров и фиксированных остальных.



$$\begin{aligned} z_1' &= \alpha_1 z_1 + \beta_1 \bar{z}_1 z_2, \\ z_2' &= \alpha_2 z_2 + \beta_2 \bar{z}_1^2. \end{aligned} \quad (1.106)$$

Здесь  $\alpha_1 = (A_1 a_1, b_1)$ ,  $\alpha_2 = (A_1 a_2, b_2)$ ,  $\beta_1 = (F_{20}(\bar{a}_1, a_2) + F_{20}(a_2, \bar{a}_1), b_1)$ ,  $\beta_2 = (F_{20}(a_1, a_1), b_2)$ .

**Задача 9.** Изучить качественное поведение системы (1.106) при различных значениях входящих параметров.

**Задача 10.** Построить следующее по порядку малости приближение нормальной формы (1.106).

**Задача 11.** Докажите, что корни квазимногочлена  $\lambda + \frac{\pi}{2}e^{-\lambda}$  лежат в левой комплексной полуплоскости за исключением одной пары  $\pm i\frac{\pi}{2}$ .

### Критерии оценивания контрольной работы

#### Критерии выставления оценок

Оценка «**отлично**» (компетенция сформирована на высоком уровне):

- Все задания решены верно,
- Оформлены по требованиям,

Оценка «**хорошо**» (компетенция сформирована на продвинутом уровне):

- } Все задания решены верно,
- } Но, решение изложено недостаточно полно и чётко (не менее 70 % от полного)
- } При наличии в ней не более одной ошибки и одного недочета, или не более трех недочетов;

Оценка «**удовлетворительно**» (компетенция сформирована на пороговом уровне)::

- } Более половины заданий решены верно,
- } Все задания оформлены по требованиям,
- } Решение изложено недостаточно полно и чётко (не менее 70 % от полного), при изложении некоторых заданий допущена 1 существенная ошибка, приводящая к неверному ответу.

Оценка «**неудовлетворительно**» (компетенция практически не сформирована):

- } Более половины заданий решены неверно,
- } Решение изложено неполно и нечётко (менее 50 % от полного), при изложении многих задач были допущены существенные ошибки, приводящая к неверному ответу.
- } число ошибок и недочетов превысило норму для оценки «3» или правильно выполнено менее 2/3 всей работы.

### **Список вопросов к зачету**

1. Неформальное описание процессов электрической активности нейрона и многообразия моделей феномена
2. Природа мембранного потенциала
3. Натриево-калиевый цикл
4. Система уравнений Ходжкина–Хаксли
5. Феноменологический вывод уравнения с запаздыванием для нейрона
6. Асимптотический анализ уравнения нейрона
7. Реакция на электрическое воздействие

8. Модель электрического синапса
9. Модель химического синапса
10. Модель популяции нейронов, связанных химическими синапсами
11. Модель кольцевой структуры из четырех нейронов
12. Модель кольцевой структуры из  $N$  нейронов
13. Модель воздействия на нейрон пачки спайков
14. Модель воздействия пачки спайков на систему двух нейронов
15. Архитектура и уравнения нейронной сети с модульной организацией
16. Алгоритм асимптотического интегрирования системы уравнений нейронной сети с кольцевой модульной организацией
17. Модель адаптации отдельных нейронов
18. Модель адаптации кольцевой нейронной структуры.
19. Колебания в системах диффузионно-связанных уравнений, моделирующих локальные нейронные сети
20. Колебания в системе из двух нейронов
21. Колебания в системе из трех нейронов
22. Некоторые структуры колебаний в нейронной сети на плоскости.
23. Структура колебаний в полносвязной сети диффузионно взаимодействующих нейронов

Зачет выставляется по результатам тестового задания и краткого собеседования со аспирантом после его проверки. Тестовое задание аналогично по своей структуре заданиям из контрольной работы.

#### **Примерные темы рефератов:**

1. Модель нейронной системы, синхронизирующей волновые пакеты
2. Архитектура и модель нейронной сети
3. Существование аттрактора синхронных колебаний
4. Структура колебаний в полносвязной сети диффузионно взаимодействующих нейронов
5. Псевдокорреляционная размерность и ее вычисление
6. Методика экспериментов вычислению псевдокорреляционной размерности и ее аппробация
7. Феномен вызванных потенциалов
8. Статистические методы и методика исследования вызванных потенциалов
9. Дифференциально-разностные уравнения с запаздыванием
10. Понятие о сальтаторном проведении возбуждения
11. Модель порогового нейрона
12. Точечная модель сальтаторного проведения возбуждения
13. Системы уравнений, описывающей точечную модель сальтаторного проведения возбуждения
14. Сети нейронных клеточных автоматов
15. Нейронные клеточные автоматы как формальные нейроны
16. Самоорганизация полносвязной сети в кольцо из трех множеств синхронно функционирующих автоматов
17. Сети  $W$ -нейронов в задачах хранения циклических последовательностей бинарных паттернов
18. Аксиоматическое описание  $W$ -нейрона
19. Возможность обучения однослойного персептрона

20. Планирование колебательных режимов заранее заданной структуры в сетях W-нейронов
21. Использование способности W-нейронов суммировать входные сигналы по времени
22. Организация режима пачечной волновой активности в сетях W-нейронов
23. Сети W-нейронов в задаче планирования оптимальных путей для точечных роботов

### Критерии оценки реферата

Оценка «**отлично**» (компетенция сформирована на высоком уровне): выполнены все требования к написанию реферата: обозначена проблема и обоснована её актуальность, сделан анализ различных точек зрения на рассматриваемую проблему и логично изложена собственная позиция; сформулированы выводы, тема раскрыта полностью, выдержан объём; соблюдены требования к внешнему оформлению.

Оценка «**хорошо**» (компетенция сформирована на продвинутом уровне):: основные требования к реферату выполнены, но при этом допущены недочёты. В частности, имеются неточности в изложении материала; отсутствует логическая последовательность в суждениях; не выдержан объём реферата; имеются упущения в оформлении.

Оценка «**удовлетворительно**» (компетенция сформирована на пороговом уровне):: имеются существенные отступления от требований к реферированию. В частности: тема освещена лишь частично; допущены фактические ошибки в содержании реферата; отсутствуют выводы.

Оценка «**неудовлетворительно**» (компетенция практически не сформирована):: тема реферата не раскрыта, обнаруживается существенное непонимание проблемы или реферат не представлен вовсе.

### **Тест**

**Задание 1.** Период устойчивого решения релейного уравнения

$$\dot{x} = R(x(t-1))$$

$$R(x) = \begin{cases} 1, & x < 0 \\ -1, & x > 0 \end{cases}$$

равен

- 1) 4
- 2) 4,5
- 3) 6

**Задание 2.** Период устойчивого решения релейного уравнения

$$\dot{x} = R(x(t-1))$$

$$R(x) = \begin{cases} 1, & x < 0 \\ -2, & x > 0 \end{cases}$$

равен

- 1) 4
- 2) 4,5
- 3) 6

**Задание 3.** Период устойчивого решения релейного уравнения

$$\dot{x} = R(x(t-1))$$

$$R(x) = \begin{cases} 1, & x < 0 \\ -\frac{1}{2}, & x > 0 \end{cases}$$

равен



- 1) 4
- 2) 4,5
- 3) 6

### Правильные ответы

Вопрос №	Вариант ответа
1	1)
2	2)
3	2)

Каждый правильный ответ оценивается в 2 балла.  
0 баллов – студент полностью неверно решил задачу  
1 балл – студент верно решил задачу, но не привел пояснений к ходу решения или допустил одну вычислительную ошибку.  
2 балла – студент полностью разобрался в решении задачи.

Набранное количество баллов соответствует формированию проверяемой компетенции на высоком уровне – 6 баллов, 5 баллов – на продвинутом уровне, 4-3 – на пороговом уровне, менее 3 баллов – ниже порогового уровня.

## **2. Перечень компетенций, этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкалы оценивания**

### **2.1. Шкала оценивания сформированности компетенций и ее описание**

Оценивание уровня сформированности компетенций в процессе освоения дисциплины осуществляется по следующей трехуровневой шкале:

*Пороговый уровень* - предполагает отражение тех ожидаемых результатов, которые определяют минимальный набор знаний и (или) умений и (или) навыков, полученных аспирантом в результате освоения дисциплины. Пороговый уровень является обязательным уровнем для аспиранта к моменту завершения им освоения данной дисциплины.

*Продвинутый уровень* - предполагает способность аспиранта использовать знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности, полученные при освоении дисциплины, для решения профессиональных задач. Продвинутый уровень превосходит пороговый уровень по нескольким существенным признакам.

*Высокий уровень* - предполагает способность аспиранта использовать потенциал интегрированных знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, полученных при освоении дисциплины, для творческого решения профессиональных задач и самостоятельного поиска новых подходов в их решении путем комбинирования и использования известных способов решения применительно к конкретным условиям. Высокий уровень превосходит пороговый уровень по всем существенным признакам.

2.2. Перечень компетенций, этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Форма контроля	Этапы формирования (№ темы (раздела))	Показатели оценивания	Шкала и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования		
			Пороговый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
Самостоятельная работа №1. Контрольная работа 1. Зачет.	1-12	<p><b>Знать:</b> общие принципы построения математических моделей в нейродинамике.</p> <p><b>Уметь:</b> пользоваться методами нелинейной динамики и теории колебаний для анализа математических моделей нейробиологии</p>	<p><b>Знать</b> общие принципы построения математических моделей в нейродинамике; <b>Уметь</b> пользоваться программными продуктами (Tracer 3.7) для моделирования поведения нейродинамических систем</p>	<p><b>Уметь</b> пользоваться методом нормальных форм для конечных систем.</p> <p><b>Знать</b> общую теорию метода нормальных форм и теории усреднения.</p>	<p><b>Знать:</b> общие принципы построения математических моделей в нейродинамике.</p> <p><b>Уметь:</b> пользоваться методами нелинейной динамики и теории колебаний для анализа математических моделей нейробиологии</p>
Самостоятельная работа №2. Контрольная работа 2. Зачет.	13–23	<p><b>Знать:</b> метод сведения для сингулярно возмущенных динамических систем</p> <p><b>Уметь:</b> пользоваться методами большого параметра для анализа моделей электрической активности нервных клеток.</p>	<p><b>Уметь</b> пользоваться методами большого параметра.</p>	<p><b>Уметь:</b> пользоваться методом квазинормальных форм и методами большого параметра</p> <p><b>Уметь</b> строить асимптотики релаксационных колебаний</p>	<p><b>Знать:</b> метод сведения для сингулярно возмущенных динамических систем</p> <p><b>Уметь:</b> пользоваться методами большого параметра для анализа моделей электрической активности нервных клеток.</p>



### **3. Методические рекомендации преподавателю по процедуре оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Целью процедуры оценивания является определение степени овладения аспирантом ожидаемыми результатами обучения (знаниями, умениями, навыками и (или) опытом деятельности).

Процедура оценивания степени овладения аспирантом ожидаемыми результатами обучения осуществляется с помощью методических материалов, представленных в разделе «Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций»

#### **3.1 Критерии оценивания степени овладения знаниями, умениями, навыками и (или) опытом деятельности, определяющие уровни сформированности компетенций**

Пороговый уровень (общие характеристики):

- владение основным объемом знаний по программе дисциплины;
- знание основной терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы без существенных ошибок;
- владение инструментарием дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках рабочей программы дисциплины;
- усвоение основной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- знание базовых теорий, концепций и направлений по изучаемой дисциплине;
- самостоятельная работа на практических и лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, достаточный уровень культуры исполнения заданий.

Продвинутый уровень (общие характеристики):

- достаточно полные и систематизированные знания в объёме программы дисциплины;
- использование основной терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно решать сложные задачи (проблемы) в рамках рабочей программы дисциплины;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических и лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

Высокий уровень (общие характеристики):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам дисциплины;
- точное использование терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;

- безупречное владение инструментарием дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные задачи (проблемы) в рамках рабочей программы дисциплины;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- активная самостоятельная работа на практических и лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

### **3.2 Описание процедуры выставления оценки**

В зависимости от уровня сформированности каждой компетенции по окончании освоения дисциплины аспиранту выставляется оценка. Для дисциплин, изучаемых в течение нескольких семестров, оценка может выставляться не только по окончании ее освоения, но и в промежуточных семестрах. Вид оценки («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», «зачтено», «незачтено») определяется рабочей программой дисциплины в соответствии с учебным планом.

Оценка «отлично» выставляется аспиранту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована на высоком уровне.

Оценка «хорошо» выставляется аспиранту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на продвинутом уровне.

Оценка «удовлетворительно» выставляется аспиранту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется аспиранту, у которого хотя бы одна компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «зачет» выставляется аспиранту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «незачтено» выставляется аспиранту, у которого хотя бы одна компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована ниже, чем на пороговом уровне.

## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Модели нейродинамики»**

### **Методические указания для аспирантов по освоению дисциплины**

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Модели нейродинамики» являются лекции, причем в достаточно большом объеме. Это связано с тем, что в основе этой дисциплины лежит фундаментальный математический аппарат, с помощью которого решаются довольно сложные и громоздкие задачи. По большому числу тем предусмотрены практические занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путем применения его к конкретным задачам и отработка практических навыков.

Для успешного освоения дисциплины очень важно решение достаточно большого количества задач, как в аудитории, так и самостоятельно в качестве домашних заданий. Примеры решения задач разбираются на лекциях и практических занятиях, при необходимости по наиболее трудным темам проводятся дополнительные консультации. Основная цель решения задач – помочь усвоить фундаментальные понятия и основы математического моделирования. Для решения всех задач необходимо знать и понимать лекционный материал. Поэтому в процессе изучения дисциплины рекомендуется регулярное повторение пройденного лекционного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз проработать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях или из учебной литературы.

Большое внимание должно быть уделено выполнению домашней работы. В качестве заданий для самостоятельной работы дома аспирантам предлагаются задачи, аналогичные разобранным на лекциях и практических занятиях или немного более сложные, которые являются результатом объединения нескольких базовых задач.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы на основе современных методов и приемов математического моделирования, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде контрольной работы в 1-ом семестре и самостоятельных работ в обоих семестрах изучения дисциплины. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

В конце четвертого семестра изучения дисциплины аспиранты сдают зачет. Зачет по итогам четвертого семестра выставляется в соответствии с результатами тестирования и собеседования по вопросам по курсу. Во время подготовки к зачету предусмотрена групповая консультация.

### **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов по дисциплине**

Для самостоятельной работы особенно рекомендуется использовать учебную литературу.

Также для подбора учебной литературы рекомендуется использовать широкий спектр интернет-ресурсов:

1. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» ([www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)) – электронная библиотека, обеспечивающая доступ к наиболее востребованным материалам-первоисточникам, учебной, научной и художественной литературе ведущих издательств (\*регистрация в электронной библиотеке – только в сети университета. После регистрации работа с системой возможна с любой точки доступа в Internet.).

2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (<http://window.edu.ru/library>).

Целью создания информационной системы "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (ИС "Единое окно ") является обеспечение свободного доступа к интегральному каталогу образовательных интернет-ресурсов и к электронной библиотеке учебно-методических материалов для общего и профессионального образования.

Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" создана по заказу Федерального агентства по образованию в 2005-2008 гг. Главной разработчик проекта - Федеральное государственное автономное учреждение Государственный научно-исследовательский институт информационных технологий и телекоммуникаций (ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информика") [www.informika.ru](http://www.informika.ru).

ИС "Единое окно" объединяет в единое информационное пространство электронные ресурсы свободного доступа для всех уровней образования в России. Разделы этой системы содержат *электронную библиотеку*, которая является крупнейшим в российском сегменте Интернета хранилищем полнотекстовых версий учебных, учебно-методических и научных материалов с открытым доступом. Она содержит более 30 000 материалов, источниками которых являются более трехсот российских вузов и других образовательных и научных учреждений. Основу наполнения библиотеки составляют электронные версии учебно-методических материалов, подготовленные в вузах, прошедшие рецензирование и рекомендованные к использованию вузовскими структурами, осуществляющими контроль учебно-методической деятельности. *Интегральный каталог* образовательных интернет-ресурсов содержит представленные в стандартизированной форме метаданные внешних ресурсов, а также содержит описания полнотекстовых публикаций электронной библиотеки. Общий объем каталога превышает 56 000 метаописаний (из них около 25 000 - внешние ресурсы). Расширенный поиск в "Каталоге" осуществляется по названию, автору, аннотации, ключевым словам с возможной фильтрацией по тематике, предмету, типу материала, уровню образования и аудитории. *Избранное*. В разделе представлены подборки наиболее содержательных и полезных, по мнению редакции, интернет-ресурсов для общего и профессионального образования. *Библиотеки вузов*. Раздел содержит подборки сайтов вузовских библиотек, электронных каталогов библиотек вузов и полнотекстовых электронных библиотек вузов.

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

1. Личный кабинет ([http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_login.php](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_login.php)) дает возможность получения on-line доступа к списку выданной в автоматизированном режиме литературы, просмотра и копирования электронных версий изданий сотрудников университета (учеб. и метод. пособия, тексты лекций и т.д.) Для работы в «Личном кабинете» необходимо зайти на сайт Научной библиотеки ЯрГУ с любой точки, имеющей доступ в Internet, в пункт меню «Электронный каталог»; пройти процедуру авторизации, выбрав вкладку «Авторизация», и заполнить представленные поля информации.

2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)) содержит более 2500 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете. Доступ в сети университета, либо по логину/паролю.

3. Электронная картотека «Книгообеспеченность» ([http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_bookreq\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_bookreq_find.php)) раскрывает учебный фонд научной библиотеки ЯрГУ, предоставляет оперативную информацию о состоянии книгообеспеченности дисциплин основной и дополнительной литературой, а также цикла дисциплин и специальностей. Электронная картотека «Книгообеспеченность» доступна в сети университета и через Личный кабинет.