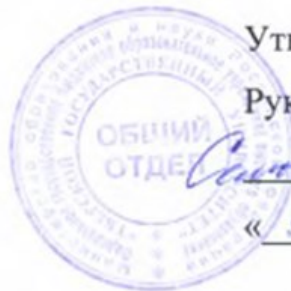


Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 13.10.2023 13:55:49  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fccc2ad12b735f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»



Утверждаю:

Руководитель ООП:

 Н.А. Семькина

« 9 » 06 2023 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Анализ интеллектуальных систем**

Специальность

**10.05.01 Компьютерная безопасность**

Специализация

Математические методы защиты информации

Для студентов 5 курса очной формы обучения

Составитель: доцент, к.ф.-м.н.  Шаловалова И.А.

Тверь 2023

## **I. Аннотация**

### **1. Наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом.**

#### **Анализ интеллектуальных систем**

### **2. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Курс «Анализ интеллектуальных систем» предназначен для подготовки специалистов по специальности Компьютерная безопасность. Он имеет своей целью дать систематический обзор моделей искусственных нейронных сетей, изучить и освоить способы их применения для решения практических задач, в том числе обработки информации, распознавания и классификации угроз безопасности компьютерных систем, аномалий в сети.

**Задачи** изучения дисциплины:

- изучение базовых моделей нейронов и нейронных сетей, алгоритмов их обучения и выбор наиболее оптимальной архитектуры ИНС в конкретных условиях;
- овладение основными парадигмами построения нейронных сетей для решения задач;
- уяснение методических основ использования нейронных сетей в практических приложениях;
- овладение основными принципами решения прикладных задач распознавания, диагностики, управления, прогнозирования, классификации, установления зависимостей с помощью нейронных сетей.

### **3. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП**

Дисциплина относится к базовой части дисциплин.

Дисциплина находится в логической и содержательно-методической связи с дисциплинами, формирующими общепрофессиональные компетенции, и дисциплинами, формирующими профессионально-специализированные компетенции; основывается на знаниях, приобретенными студентами в результате изучения дисциплин «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Языки программирования», «Модели управляемых систем». Знания и навыки, приобретенные в результате изучения дисциплины, используются студентами при разработке курсовых и выпускных квалификационных работ.

### **4. Объем дисциплины (или модуля):**

3 зачетных единицы, 108 академических часов, **в том числе**

**контактная работа:** практические занятия 45 часов, **самостоятельная работа:** 63 часа.

**5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (или модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

<b>Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине</b>
<b>Базовый уровень ОПК-3.</b> способностью понимать значение информации в развитии современного общества, применять достижения информационных технологий для поиска и обработки информации по профилю деятельности в глобальных компьютерных сетях, библиотечных фондах и в иных источниках информации	<b>Знать:</b> базовые модели нейронов и нейронных сетей и алгоритмы их обучения. <b>Уметь:</b> анализировать компьютерную систему с целью определения необходимого уровня защищенности и доверия. <b>Владеть:</b> основными парадигмами построения нейронных сетей для решения практических задач.
<b>Базовый уровень ПК-3.</b> Способность проводить анализ безопасности компьютерных систем на соответствие отечественным и зарубежным стандартам в области компьютерной безопасности.	<b>Знать:</b> угрозы безопасности компьютерных систем; методы и способы защиты компьютерных систем; методические основы использования нейронных сетей в области безопасности компьютерных систем. <b>Уметь:</b> выявлять и оценивать угрозы безопасности компьютерных систем; анализировать степень безопасности компьютерных систем. <b>Владеть:</b> специальной терминологией; методами проведения контроля безопасности; основными принципами решения прикладных задач распознавания, диагностики, прогнозирования, классификации с помощью нейронных сетей.

<p><b>Базовый уровень ПК-11.</b> Способность участвовать в проведении экспериментально-исследовательских работ при проведении сертификации средств защиты информации в компьютерных системах по требованиям безопасности информации.</p>	<p><b>Знать:</b> основные принципы экспериментальных исследований, соотношение теоретического и экспериментального знания; виды, сущность и содержание сертификации; основные критерии качества средств защиты информации.</p> <p><b>Уметь:</b> обрабатывать результаты наблюдений, измерений и определять погрешности результатов; оценивать качество программных систем.</p> <p><b>Владеть:</b> приемами и методами решения конкретных задач из областей технологии, с учетом требований по обеспечению информационной безопасности, уметь проводить расчеты для анализа явлений и процессов.</p>
<p><b>Базовый уровень ПСК-2.3.</b> способность строить математические модели для оценки безопасности компьютерных систем и анализировать компоненты системы безопасности с использованием современных математических методов.</p>	<p><b>Знать:</b> основные подходы к построению математических моделей нейронных сетей в области оценки безопасности компьютерных систем.</p> <p><b>Уметь:</b> применять математическое моделирование для решения профессиональных задач, в том числе с использованием вычислительной техники.</p> <p><b>Владеть:</b> аппаратом математического моделирования; основными методами моделирования и анализа безопасности для защищаемых компьютерных систем.</p>

## 6. Форма промежуточного контроля

зачет.

7. Язык преподавания: русский.

## II. Содержание дисциплины (или модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

### 1. Для студентов очной формы обучения

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Практические занятия	

Тема 1. Введение в теорию искусственных нейронных сетей.	8	0	2	6
Тема 2. Базовые понятия искусственных нейронных сетей.	11	0	3	8
Тема 3. Дискретная модель нейронной сети.	12	0	6	10
Тема 4. Непрерывная оптимизационная модель нейронной сети.	12	0	8	8
Тема 5. Численные методы поиска решения.	16	0	10	12
Тема 6. Применение нейронных сетей.	49	0	16	19
ИТОГО	108	0	45	63

### **III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (или модулю)**

#### ***Планы практических занятий***

#### ***Практическое занятие №1. Введение в теорию искусственных нейронных сетей***

Предмет и задачи курса. Понятие искусственных нейронных сетей. Области применения и классификация ИНС. Задачи, решаемые в настоящее время с помощью ИНС. Современное состояние исследований в данной области.

#### ***Практическое занятие №2. Базовые понятия искусственных нейронных сетей.***

Формальное построение искусственного нейрона: синапс, адаптивный сумматор, нелинейный преобразователь, точка ветвления. Математический нейрон Мак-Каллока–Питтса. Виды функций активации формального нейрона.

***Практическое занятие №3–5. Дискретная модель нейронной сети.***

Персептрон Розенблатта. Правила Хебба и дельта-правило. Многослойный персептрон. Обучение с учителем. Правило коррекции по ошибке. Программная реализация распознавания четных и нечетных цифр. Программная реализация распознавания букв.

Дискретная модель нейронной сети. Построение оптимизационных моделей на основе математических моделей ИНС. Дискретная модель нейронной сети с учетом запаздывания.

***Практическое занятие №6–9. Непрерывная оптимизационная модель нейронной сети.***

Энергетические функционалы для нейронных сетей. Модель нейронной сети общей топологии. Построение и решение оптимизационной модели. Модель нейронной сети, описывающая авторитетность нейронов. Осцилляторные нейронные сети.

***Практическое занятие № 10–14. Численные методы поиска решения.***

Метод быстрого автоматического дифференцирования. Метод штрафных функций. Программная реализация метода быстрого автоматического дифференцирования и метода штрафных функций. Генетические алгоритмы. Традиционная схема генетического алгоритма: создание новой популяции, размножение и мутация. Шима, строящие блоки, теорема шим.

***Практическое занятие № 15–22. Применение нейронных сетей.***

Модель синхронизации нейронных сетей и ее применение в криптографии.  
Применение нейронных сетей в задаче минимизации функционалов.  
Экспертно-нейросетевая система автоматического управления.  
Классификация методов распознавания человека по изображению лица.  
Применение нейросетевых алгоритмов к обнаружению аномальной активности в информационных системах. Проект исследования одной из моделей по схеме:

- исследование положения равновесия неуправляемой модели;
- краевая задача принципа максимума для непрерывной задачи;
- дискретная аппроксимация;
- необходимые условия оптимальности дискретной задачи;
- разработка алгоритма поиска численного решения;
- программная реализация алгоритма;
- исследование параметров модели и параметров метода поиска численного решения.

***Тематика рефератов и методические рекомендации по их написанию***

1. Нейрокомпьютеры. Их отличия от компьютеров фон Неймана.
2. Виды соединения нейронных сетей: многослойные сети, прямое произведение нейронных сетей.
3. Персептрон Ф. Розенблата.
4. Однослойные и многослойные искусственные нейронные сети.
5. Теорема об обучении персептрона. Правило коррекции по ошибке.
6. Оптимизация размеров сети: разрежение связей и конструктивные алгоритмы.
7. Хеббовское обучение.
8. Автоассоциативные сети.
9. Конкурентное обучение.
10. Гибридные архитектуры.
11. Модель Липпмана-Хемминга. Обучение нейронной сети Липпмана-Хемминга.

12. Карта самоорганизации Кохонена. Обучение на основе самоорганизации.
13. Нейронная сеть встречного распространения Хехт-Нильсена. Обучение нейронных сетей встречного распространения.
14. Сеть Хопфилда.
15. Правило обучения Хебба. Модификация правила Хебба.
16. Двухнаправленная ассоциативная нейронная сеть Барта Коско.
17. Задача распознавания образов.
18. Сети свертки. Общий принцип построения сетей свертки. Алгоритм конкурентного обучения.
19. Ассоциативные машины.
20. Рекуррентные сети на базе многослойного перцептрона.
21. Осцилляторные нейронные сети.

### ***Методические рекомендации по написанию рефератов***

Написание реферата является формой контроля и оценки знаний студентов, а также данный вид самостоятельной работы способствует углубленному изучению студентами соответствующего материала и развивает способности к научному мышлению и творчеству.

Написание студентом реферата ведется под методическим руководством преподавателя, ведущего семинарские занятия.

К содержанию реферата предъявляются следующие требования:

- 1) учет и раскрытие неразрывной связи теории с практикой;
- 2) самостоятельное и соответствующее названию темы работы и ее плану логически-последовательное изложение материала;
- 3) использование необходимого минимума имеющихся по данной теме учебно-научной литературы, наличие в тексте работы соответствующих ссылок;



4) культура изложения материала, правильное применение технических, математических и иных терминов, грамотность, аккуратное оформление работы и т.п.

Использование научных и учебных публикаций не должно сводиться к переписыванию и неоправданной перегрузке работы цитатами и сносками. При изложении дискуссионных вопросов необходимо привести различные точки зрения и дать их аргументированный анализ. При написании реферата студенту следует показать умение работать со специальной литературой, анализировать различные источники, делать на их основе обоснованные выводы.

Реферат должен иметь следующую структуру:

- титульный лист;
- план работы;
- вводная часть (вступление, введение);
- основная часть, разделенная на главы, и, возможно, на параграфы;
- заключение;
- список использованной литературы;

при необходимости — приложения (схемы, таблицы, анкеты, графики и т.п.).

Рекомендуемый объем текста 15-20 страниц; Формат - А 4, шрифт - Times New Roman, размер шрифта – 14, межстрочный интервал – 1,5.

### ***Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов***

Самостоятельная работа студентов, предусмотренная учебным планом должна соответствовать более глубокому усвоению изучаемого курса, формировать навыки исследовательской работы и ориентировать студентов на умение применять теоретические знания на практике.

**1. Работа с учебными пособиями.** Для полноценного усвоения курса студент должен, прежде всего, овладеть основными понятиями этой

дисциплины. Необходимо усвоить определения и понятия, уметь приводить их точные формулировки, приводить примеры объектов, удовлетворяющих этому определению. Кроме того, необходимо знать круг фактов, связанных с данным понятием. Требуется также знать связи между понятиями, уметь устанавливать соотношения между классами объектов, описываемых различными понятиями.

**2. Самостоятельное изучение тем.** Самостоятельная работа студента является важным видом деятельности, позволяющим хорошо усвоить изучаемый предмет и одним из условий достижения необходимого качества подготовки и профессиональной переподготовки специалистов. Она предполагает самостоятельное изучение студентом рекомендованной учебно-методической литературы, различных справочных материалов, написание рефератов, выступление с докладом, подготовку к лекционным и практическим занятиям, подготовку к зачёту и экзамену.

**3. Подготовка к практическим занятиям.** При подготовке к практическим занятиям студентам рекомендуется следовать методическим рекомендациям по работе с учебными пособиями, приведенным выше.

**4. Составление глоссария.** В глоссарий должны быть включены основные понятия, которые студенты изучают в ходе самостоятельной работы. Для полноты исследования рекомендуется вписывать в глоссарий и те термины, которые студентам будут раскрыты в ходе лекционных и практических занятий.

**5. Составление конспектов.** В конспекте отражены основные понятия темы. Для наглядности и удобства запоминания использованы схемы и таблицы.

**6. Подготовка к зачету / экзамену.** При подготовке к зачету / экзамену студенты должны использовать как самостоятельно подготовленные конспекты, так и материалы, полученные в результате контактной работы. Для получения зачета по дисциплине необходимо решить минимум 51%

тестовых заданий (минимальная оценка – удовлетворительно), при решении меньшего количества заданий зачет считается не сданным.

#### IV. Фонды оценочных средств

##### 1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенций ОПК-3, ПК-11.

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
<p>Базовый</p> <p><b>Владеть:</b></p> <p>основными парадигмами построения нейронных сетей для решения практических задач.</p>	<p><b>Пример 1.</b> Нейрон <math>j</math> получает входной сигнал от четырех других нейронов, уровни возбуждения которых равны 10, -20, 4 и -2. Соответствующие веса равны 0.8, 0.2, -1.0 и -0.9. Вычислите выходное значение нейрона <math>j</math> для двух случаев:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- нейрон линейный;</li> <li>- нейрон, представленный моделью Мак-Каллока Питца.</li> </ul> <p>Пороговое значение отсутствует.</p> <p><b>Пример 2.</b> Полносвязная сеть прямого распространения имеет 10 входных узлов, 2 скрытых слоя (один с 4, а другой с 5 нейронами) и один нейрон в выходном слое. Постройте архитектурный граф этой нейронной сети.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 3 балла.</li> <li>• Дано верное решение, но получен неправильный ответ из-за арифметической ошибки</li> </ul> <p>ИЛИ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решение недостаточно обосновано</li> </ul> <p>ИЛИ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• в решении имеются лишние или неверные записи, не отделенные от решения – 2 балла.</li> <li>• Имеется неверное решение из-за логической ошибки – 1 балл.</li> <li>• Решение не дано</li> </ul> <p>ИЛИ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• дано неверное решение – 0 баллов.</li> </ul>

<p>Базовый <b>Уметь:</b> анализировать компьютерную систему с целью определения необходимого уровня защищенности и доверия.</p>	<p><b>Пример 1.</b> Опишите параметры математической модели, описывающей работу web-сайтов</p> $\dot{x}_i = x_i(v_i - x_i)u_i - m_i x_i - \sum_{i \neq j} \gamma_{ij} x_i x_{ij}, \quad i, j = \overline{1, n}$ $x_i(0) = a_i, \quad i = \overline{1, n}$ $0 \leq u_i(t) \leq b_i, \quad 0 \leq v_i(t) \leq d_i, \quad i = \overline{1, n}$ $J(u, v) = \int_0^T \sum_{i=1}^n (\rho_i x_i(t)) dt - \int_0^T \sum_{i=1}^n (\beta_i u_i(t)) dt - \int_0^T \sum_{i=1}^n (\alpha_i v_i(t)) dt + \sum_{i=1}^n (\mu_i x_i(T))$ <p><b>Пример 2.</b> Опишите алгоритм поиска численного решения, для модели, описанной в примере 1.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Задание выполнено с опорой на соответствующие понятия и теоретические положения – 2 балла</li> <li>• Задание выполнено на теоретическом уровне неполно, смысл ряда ключевых понятий не объяснен – 1 балл</li> <li>• Терминологический аппарат непосредственно не связан с раскрываемой темой – 0 баллов</li> </ul>
<p>Базовый <b>Знать:</b> базовые модели нейронов и нейронных сетей и алгоритмы их обучения.</p>	<p><b>Пример 1.</b> При обучении многослойного персептрона обратным распространением ошибки могут настраиваться:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. только веса связей между нейронами;</li> <li>2. только параметры функций активации нейронов;</li> <li>3. и те и другие.</li> </ol> <p><b>Пример 2.</b> Каким из нижеперечисленных свойств должна обладать функция активации нейронов многослойного персептрона обучаемого обратным распространением ошибки?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Функция активации</li> </ol>	<p>Правильно выбран вариант ответа – 1 балл</p>

	<p>должна быть пороговой.</p> <p>2. Функция активации должна быть убывающей.</p> <p>3. Функция активации должна быть монотонной и дифференцируемой.</p> <p>4. Функция активации должна быть возрастающей.</p> <p><b>Пример 3.</b> Какую функцию не может решить однослойная нейронная сеть?</p> <p>a) логическое «не»;</p> <p>b) суммирование;</p> <p>c) логическое «исключающее или»;</p> <p>d) произведение;</p> <p>e) логическое «или».</p>	
--	--	--

## 2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-3, ПСК -2.3.

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
<p>Базовый</p> <p><b>Владеть:</b> основными принципами решения прикладных задач распознавания, диагностики, прогнозирования, классификации с помощью нейронных сетей.</p>	<p><b>Пример 1.</b> Для задачи оптимального управления, моделирующей осцилляторную нейронную сеть, выписать краевую задачу принципа максимума.</p> $\frac{dx_i(t)}{dt} = y_i(t), i = \overline{1, N}, t \in [0, T]$ $\frac{dy_i(t)}{dt} = -w_i^2 x_i(t) + \varepsilon \frac{u(t)}{N} \sum_{j=1}^N (y_j(t) - y_i(t)),$ $x_i(0) = a_i, y_i(0) = 0, i = \overline{1, N}$ $I = R \int_0^T \frac{u^2(t)}{2} dt \rightarrow \inf$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 3 балла.</li> <li>• Дано верное решение, но получен неправильный ответ из-за арифметической ошибки ИЛИ</li> <li>• решение недостаточно обосновано ИЛИ</li> <li>• в решении имеются лишние или неверные</li> </ul>

	<p><b>Пример 2.</b> Для задачи оптимального управления, моделирующей осцилляторную нейронную сеть, (см. пример 1) построить дискретную задачу оптимального управления и описать алгоритм поиска численного решения.</p>	<p>записи, не отделенные от решения – 2 балла.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется неверное решение из-за логической ошибки – 1 балл.</li> <li>• Решение не дано</li> </ul> <p>ИЛИ</p> <p>дано неверное решение – 0 баллов</p>
<p>Базовый</p> <p><b>Уметь:</b> применять математические методы и навыки программирования для нейросетевой обработки больших объемов пространственно-временных данных.</p>	<p><b>Пример 1.</b> Рассмотрим функцию стоимости <math>E(w) = 0.5\sigma^2 - r_{xd}w + 0.5r_xw^2</math>, где <math>\sigma</math>, <math>r_{xd}</math>, <math>r_x</math> – константы. Найдите оптимальное значение <math>w^*</math>, при котором функция <math>E(w)</math> достигает своего минимального значения. Используйте метод наискорейшего спуска для вычисления <math>w^*</math> при скорости обучения <math>\eta=0,3</math>.</p> <p><b>Пример 2.</b> Составьте программу обучения однейронного персептрона с помощью правил Хебба.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 3 балла.</li> <li>• Дано верное решение, но получен неправильный ответ из-за арифметической ошибки</li> </ul> <p>ИЛИ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• решение недостаточно обосновано</li> </ul> <p>ИЛИ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• в решении имеются лишние или неверные записи, не отделенные от решения – 2 балла.</li> <li>• Имеется неверное решение из-за логической ошибки – 1 балл.</li> <li>• Решение не дано</li> </ul> <p>ИЛИ</p> <p>дано неверное решение – 0 баллов</p>

<p>Базовый</p> <p><b>Знать:</b> методические основы использования нейронных сетей в области безопасности компьютерных систем.</p>	<p><b>Пример 1.</b> В прикладных задачах информационной безопасности нейронные сети применяются в:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. системах обнаружения атак;</li> <li>2. межсетевых экранах;</li> <li>3. вынесении определенных сведений в процессе обучения, и построении на их основе более мощной системы защиты;</li> <li>4. антивирусном программном обеспечении.</li> </ol> <p><b>Пример 2.</b> Обучение персептрона состоит в:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. подстройке весовых коэффициентов;</li> <li>2. запоминании образов;</li> <li>3. определении числа слоев в персептроне.</li> </ol>	<p>Правильно выбран вариант ответа – 1 балл</p>
---	---	---

## V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) Основная литература

1. Пятаева А. В. Интеллектуальные системы и технологии [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. В. Пятаева, К. В. Раевич; Пятаева А. В., Раевич К. В. - Красноярск : СФУ, 2018. - 144 с. - Книга из коллекции СФУ - Информатика. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/157576>
2. Бессмертный И. А. Интеллектуальные системы : учебник и практикум для вузов / И. А. Бессмертный, А. Б. Нугуманова, А. В. Платонов - Электрон. дан. - Москва : Юрайт, 2021. - 243 с. - (Высшее образование). - URL. - Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/469867>
3. Данилов В. В. Нейронные сети [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. В. Данилов. - Донецк : ДонНУ, 2020. - 158 с. - Книга из коллекции ДонНУ – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/179953>

### б) Дополнительная литература

1. Ростовцев В. С. Искусственные нейронные сети [Электронный ресурс] : учебник для вузов / В. С. Ростовцев. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2023. - 216 с. - Книга из коллекции Лань - Информатика. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/310184>
2. Сысоев Д. В. Введение в теорию искусственного интеллекта : учебное пособие / Д. В. Сысоев, О. В. Курипта, Д. К. Проскурин. - Введение в теорию искусственного интеллекта. - Электрон. дан. (1 файл). - Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. - 170 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/108282.html>
3. Колесникова А. В. Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: материалы VI Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием [Электронный ресурс] / А. В. Колесникова; Колесникова А. В. - Калининград : БФУ им. И.Канта, 2022. - 398 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/310055>
4. Гибридные адаптивные интеллектуальные системы. Часть 1. Теория и технология разработки [Электронный ресурс]: монография/ П.М. Клачек [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2011.— 375 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23834.html>
5. Андреева Е. А., П. В. Кратович. **Оптимизация нейронных сетей** : учебное пособие /; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО "Твер. гос. ун-т". - Тверь : Тверской государственный университет, 2015. Ссылка на ресурс: <http://texts.lib.tversu.ru/texts/10362ogl.pdf>

## **VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (или модуля)**

1. ЭБС Лань <https://e.lanbook.com/> Договор № 4-е/23 от 02.08.2023 г.
2. ЭБС Znanium.com <https://znanium.com/> Договор № 1106 эбс от 02.08.2023г.
3. ЭБС Университетская библиотека online <https://biblioclub.ru> Договор № 02-06/2023 от 02.08.2023 г.



4. ЭБС ЮРАЙТ <https://urait.ru/> Договор № 5-е/23 от 02.08.2023 г.
5. ЭБС IPR SMART <https://www.iprbookshop.ru/> Договор № 3-е/23К от 02.08.2023 г.
6. <https://cyberleninka.ru/> научная электронная библиотека «Киберленинка».
7. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы) [https://elibrary.ru/projects/subscription/rus\\_titles\\_open.asp](https://elibrary.ru/projects/subscription/rus_titles_open.asp);
8. Репозиторий ТвГУ <http://eprints.tversu.ru>

## **VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

*Пример оформления итоговой работы по дисциплине «Анализ интеллектуальных систем»*

### **Задача оптимального управления модулирующая осцилляторную нейронную сеть составленную из осцилляторов Курамото**

В работе рассматривается задача оптимального управления, моделирующая динамику искусственной нейронной сети. Динамика сети описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\dot{x}_i(t) = w_i + u(t) \sum_{j=1}^N \sin(x_j(t) - x_i(t)), i = \overline{1, N}, \quad (1)$$

с начальными условиями

$$x_i(0) = x_{i0}, i = \overline{1, N}. \quad (2)$$

Известно ограничение на управляющую функцию

$$|u(t)| \leq 1, i = \overline{1, N}. \quad (3)$$

Цель управления динамикой нейронной сети является обучение сети является многокритериальной и предполагает достижение следующих целей:

1. в конечный момент времени характеристики нейронов должны совпадать с выходными данными  $A_i$ , т.е.  $x_i(T) = A_i, i = \overline{1, N}$ ;
2. характеристики нейронов не должны выходить за пределы заданного диапазона значений, т.е.  $|x_i(t)| \leq B_i, i = \overline{1, N}$ ;
3. минимизация значения управляющей функции.

Задачи управления можно формализовать в виде следующего целевого функционала:

$$I(x, u) = M_1 \sum_{i=1}^N (x_i(T) - A_i)^2 + M_2 \int_0^T u^2(t) dt + \\ + M_3 \sum_{i=1}^N \int_0^T \max^2(0, B_i - x_i(t)) dt + M_4 \sum_{i=1}^N \int_0^T \max^2(0, x_i(t) - B_i) dt, \quad (4)$$

Здесь  $M_1, M_2, M_3$  – штрафные коэффициенты, позволяющие выбрать приоритетные цели.

Основной практической целью решения данной задачи является получение оптимальных управлений процесса, при помощи которого достигается минимум целевого функционала.

### Принцип максимума

Для решения задачи оптимального управления (1) – (4) используем принцип максимума Понтрягина.

Введем функцию Понтрягина:

$$H = -\lambda_0 \left( M_2 u^2(t) + M_3 \sum_{i=1}^N \max^2(0, B_i - x_i(t)) + M_4 \sum_{i=1}^N \max^2(0, x_i(t) - B_i) \right) \\ + \sum_{i=1}^N p_i(t) \left( w_i + u(t) \sum_{j=1}^N \sin(x_j(t) - x_i(t)) \right), \quad (5)$$

Запишем принцип максимума:

$$\bar{H} = \max_{|u| \leq 1} \left( -\lambda_0 M_2 u^2(t) + \sum_{i=1}^N p_i(t) u(t) \sum_{j=1}^N \sin(x_j(t) - x_i(t)) \right) - \\ \lambda_0 M_3 \sum_{i=1}^N \max^2(0, B_i - x_i(t)) - \lambda_0 M_4 \sum_{i=1}^N \max^2(0, x_i(t) - B_i) + \sum_{i=1}^N p_i(t) w_i, \quad (6)$$

Согласно принципу максимум оптимально управление имеет вид:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^N p_i(t) \sum_{j=1}^N \sin(x_j(t) - x_i(t))}{-\lambda_0 M_2} = -\frac{b}{2a'}, \quad (7)$$

$$\bar{u} = \begin{cases} -\frac{b}{2a}, \left| -\frac{b}{2a} \right| \leq 1 \\ 1, -\frac{b}{2a} > 1 \\ -1, -\frac{b}{2a} < 1 \end{cases}, \quad (8)$$

Сопряженный вектор - функции вычисляются по формуле:

$$\begin{aligned} \dot{p}_i(t) &= -2\lambda_0 M_3 \max(0, B_i - x_i(t)) - 2\lambda_0 M_4 \max(0, x_i(t) - B_i) + \\ &u(t) p_i(t) \sum_{j=1}^N \cos(x_j(t) - x_i(t)) - u(t) \sum_{j=1}^N p_j(t) \cos(x_i(t) - x_j(t)), \quad (9) \end{aligned}$$

и удовлетворяет условию трансверсальности:

$$p_i(T) = -2\lambda_0 M_1 (x_i(T) - A_i), \quad (10)$$

### Краевая задача принципа максимума

Принцип максимума позволяет свести задачу оптимального управления процесса к решению краевой задачи:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) &= w_i + u(t) \sum_{j=1}^N \sin(x_j(t) - x_i(t)), \quad i = \overline{1, N} \\ \dot{p}_i(t) &= -2\lambda_0 M_3 \max(0, B_i - x_i(t)) - 2\lambda_0 M_4 \max(0, x_i(t) - B_i) + \\ &u(t) p_i(t) \sum_{j=1}^N \cos(x_j(t) - x_i(t)) - u(t) \sum_{j=1}^N p_j(t) \cos(x_i(t) - x_j(t)) \\ p_i(T) &= -2\lambda_0 M_1 (x_i(T) - A_i), \quad x_i(0) = x_{i0}, \quad i = \overline{1, N}. \end{aligned}$$

где:

$$\bar{u} = \begin{cases} -\frac{b}{2a}, \left| -\frac{b}{2a} \right| \leq 1 \\ 1, -\frac{b}{2a} > 1 \\ -1, -\frac{b}{2a} < 1 \end{cases},$$

$$\frac{b}{2a} = \frac{\sum_{i=1}^N p_i(t) \sum_{j=1}^N \sin(x_j(t) - x_i(t))}{\lambda_0 M_2}.$$

### Дискретная задача оптимального управления

Оптимальные управления процесса мы получим методом градиентного спуска или, в терминологии обучения ИНС, методом обратного распространения ошибки.

Для нахождения численного решения дискретной задачи оптимального управления приведем исходную задачу к дискретному виду. Разобьем отрезок  $[0...T]$  на  $q$  отрезков. Шаг дискретизации  $\Delta t = \frac{T}{q}$ . Обозначим:  $x_i(t^k) = x_i^k$ .

Аппроксимируем систему дифференциальных уравнений по схеме Эйлера:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \Delta t(w_i + u^k \sum_{j=1}^N \sin(x_j^k - x_i^k)), i = \overline{1, N}, \quad (11)$$

Аппроксимируем интегралы по правилу левых прямоугольников прямоугольников.

Целевая функция примет вид:

$$I = M_1 \sum_{i=1}^N (x_i^q - A_i)^2 + M_2 \sum_{k=0}^{q-1} (u^k)^2 \Delta t + M_3 \sum_{i=1}^N \sum_{k=0}^{q-1} \max^2(0, B_i - x_i^k) \Delta t + M_4 \sum_{i=1}^N \sum_{k=0}^{q-1} \max^2(0, x_i^k - B_i) \Delta t \rightarrow \inf.$$

### Метод множителей Лагранжа

С помощью метода множителей Лагранжа получим необходимое условие оптимальности. Составим функцию Лагранжа:

$$L = \lambda_0 \left( M_1 \sum_{i=1}^N (x_i^q - A_i)^2 + M_2 \sum_{k=0}^{q-1} (u^k)^2 \Delta t + M_3 \sum_{i=1}^N \sum_{k=0}^{q-1} \max^2(0, B_i - x_i^k) \Delta t + M_4 \sum_{i=1}^N \sum_{k=0}^{q-1} \max^2(0, x_i^k - B_i) \Delta t \right) + \sum_{i=1}^N \sum_{k=0}^{q-1} p_i^{k+1} \left( x_i^{k+1} - x_i^k - \Delta t \left( w_i + u^k \sum_{j=1}^N \sin(x_j^k - x_i^k) \right) \right).$$

Запишем условия стационарности:

$$\frac{\partial L}{\partial x_i^m} = -2M_3\lambda_0 \max(0, B_i - x_i^m)\Delta t + 2\lambda_0 M_4 \max(0, x_i^m - B_i)\Delta t + p_i^m - p_i^{m+1}$$

$$-\Delta t u^m \sum_{j=1}^N p_j^{m+1} \cos(x_i^m - x_j^m) + p_i^{m+1} \Delta t u^m \sum_{j=1}^N \cos(x_j^m - x_i^m) = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_i^q} = 2\lambda_0 M_1 (x_i^q - A_i) + p_i^q = 0$$

Запишем значения градиента:

$$\frac{\partial L}{\partial u^m} = 2\lambda_0 M_2 u^m \Delta t - \sum_{i=1}^N p_i^{m+1} \Delta t \sum_{j=1}^N \sin(x_j^m - x_i^m)$$

Выразим через данные уравнения импульсы  $p_i^m$  и  $p_i^q$ :

$$p_i^{m+1} = -2M_3\lambda_0 \max(0, B_i - x_i^m)\Delta t + 2\lambda_0 M_4 \max(0, x_i^m - B_i)\Delta t + p_i^m$$

$$-\Delta t u^m \sum_{j=1}^N p_j^{m+1} \cos(x_i^m - x_j^m) + p_i^{m+1} \Delta t u^m \sum_{j=1}^N \cos(x_j^m - x_i^m)$$

$$p_i^q = -2\lambda_0 M_1 (x_i^q - A_i)$$

### Алгоритм поиска численного решения

1. Задаем параметры модели.
2. Задаем параметры метода:  $\varepsilon$  – точность вычисления,  $\alpha$  – шаг градиентного спуска,  $q$  – количество слоёв и начальный набор управлений  $[u]^{(0)}$ .
3. Вычисляем набор  $x_i^k$  на 0 итерации. Вычисляем  $I^{(0)}$ .
4. Вычисляем  $p_i^k, g_i^k$   $k = q \dots 1, i = 1 \dots n, \left[ \frac{\partial \tilde{L}}{\partial u_k^m} \right]^{(l)}$ .
5. Улучшаем управление на  $l + 1$  шаге:  $[u]^{(l+1)} = [u]^{(l)} - \alpha \frac{\partial \tilde{L}}{\partial u}$
6. Вычисляем  $[x]^{(l+1)}$ , затем  $[I]^{(l+1)}$ .
7. Сравниваем значения  $[I]^{(l)}$  и  $I^{(l+1)}$ . Если  $I^{(l+1)} < I^{(l)}$ , то уменьшаем шаг градиентного спуска  $\alpha = \frac{\alpha}{N}$ , где  $N \in \mathbb{N}$  и переходим к пункту (5) той же итерации, иначе переходим к пункту (8)

8. Проверяем условие  $I^{(l+1)} - I^{(l)} > \varepsilon$ , если оно выполнено, переходим на следующую итерацию  $l := l + 1$  и переходим к пункту (4), в противном случае считаем, что оптимальное решение при заданных параметрах найдено и заканчиваем вычисления.

### Анализ параметров метода

Программную реализацию алгоритма поиска численного решения выполним с помощью языка DELPHI в среде разработки LAZARUS.

Вычислить значения фазовых переменных в конечный момент времени можно аналитически следующим образом:

Просуммируем все дифференциальные уравнения и в силу нечетности функции  $\sin$  второе слагаемое в дифференциальных уравнениях взаимно сократится. В результате получаем уравнение

$$\dot{X}(t) = W, \text{ где } X(t) = \sum_{i=1}^N x_i(t), W = \sum_{i=1}^N w_i.$$

Решением этого дифференциального уравнения является линейная функция  $X(t) = Wt + X(0)$ . Т.о.  $X(T) = WT + X(0)$ .

Возвращаясь к введенным обозначениям получаем:

$$\sum_{i=1}^N x_i(T) = \sum_{i=1}^N w_i T + \sum_{i=1}^N x_i(0).$$

Будем пользоваться формулой (20) при выполнении численных экспериментов. Исследуем зависимость численного решения от выбора начального управления.

Рассмотрим работу программы на следующих значениях параметров модели:

Количество нейронов:  $N = 3$ ; время  $T = 10$ . Параметры:  $M_3 = 50, M_4 = 100, B_i = 5 (\forall i = 1, 2, 3), w_i = 0,092 (\forall i = 1, 2, 3)$ .

При введенных выше параметрах модели рассмотрим влияние на решение параметров метода.

Зафиксируем значения  $u_i^0 = 0,1(\forall i = 1..q), \varepsilon = 0.0001, \alpha = 10, M_1 = 100000, M_2 = 10$  и посмотрим влияние на решение изменений количества слоёв  $q$ :

Количество слоёв	Итоговое значение $x$	Минимум целевой функции	Количество итераций
50	1,95499244753047	0,00708243577003452	21
	1,99		
	2,02500755246953		
100	1,9550072926827	0,00710987827307598	16
	1,99		
	2,0249927073173		
300	1,95499845948919	0,00707174803669373	8
	1,99		
	2,02500154051081		
300	1,95500321616995	0,00707756762327745	10
	1,98999999999998		
	2,02499678383004		

• Зафиксируем значения  $u_i^0 = 0,1(\forall i = 1..q), \varepsilon = 0.0001, q = 300, M_1 = 100000, M_2 = 10$  и посмотрим влияние на решение изменений шага градиентного спуска  $\alpha$ :

Шаг градиентного спуска	Итоговое значение $x$	Минимум целевой функции	Количество итераций
1	1,95498848063767	0,00723218924972148	24
	1,99		
	2,02501151936233		
5	1,95499845948919	0,00707174803669373	8
	1,99		
	2,02500154051081		
10	1,95499845948919	0,00707174803669373	8
	1,99		
	2,02500154051081		
15	1,95500596643019	0,00707365249110074	8
	1,99		
	2,02499403356981		
20	1,95499845948919	0,00707174803669373	8
	1,99		
	2,02500154051081		
30	1,95500596643019	0,00707365249110074	8
	1,99		
	2,02499403356981		
50	1,9550073641494	0,00709071304002103	10
	1,99		

	2,0249926358506		
100	1,9550073641494	0,00709071304002103	10
	1,99		
	2,0249926358506		

• Зафиксируем значения  $\varepsilon = 0.0001$ ,  $q = 300$ ,  $M_1 = 100000$ ,  $M_2 = 10$ ,  $\alpha = 10$  и посмотрим влияние на решение изменений начального управления  $u_i^0$ :

Начальное управление	Итоговое значение x	Минимум целевой функции	Количество итераций
-1	1,95499846671517	0,00707174748892741	11
	1,99		
	2,02500153328483		
-0,5	1,95499846671517	0,00707174748892741	11
	1,99		
	2,02500153328483		
-0,1	1,95499846671517	0,00707174748892741	11
	1,99		
	2,02500153328483		
0,1	1,95499845948919	0,00707174803669373	8
	1,99		
	2,02500154051081		
0,5	1,95499853980089	0,00707174210177672	9
	1,99		
	2,02500146019911		
1	1,95499846671517	0,00707174748892741	10
	1,99		
	2,02500153328483		
5	1,9549984623715	0,00707174784463863	10
	1,99		
	2,0250015376285		

• Зафиксируем значения  $u_i^0 = 0,1 (\forall i = 1..q)$ ,  $q = 300$ ,  $\alpha = 10$ ,  $M_1 = 100000$ ,  $M_2 = 10$  и посмотрим влияние на решение изменения точности  $\varepsilon$ :

Точность	Итоговое значение x	Минимум целевой функции	Количество итераций
0,1	1,95491855220497	0,00728284127944833	6
	1,99		
	2,02508144779503		
0,0001	1,95499845948919	0,00707174803669373	8
	1,99		
	2,02500154051081		
0,000001	1,95499987158707	0,00707170096898715	9



	1,99		
	2,02500012841293		
0,0000001	1,95499987158707	0,00707170096898715	9
	1,99		
	2,02500012841293		
0,00000000001	1,95499971672429	0,00707170024767023	12
	1,99		
	2,02500028327571		

• Зафиксируем значения  $u_i^0 = 0,1 (\forall i = 1..q), q = 300, \alpha = 10, \varepsilon = 0.0001, M_2 = 10$  и посмотрим влияние на решение изменения параметра  $M_1$ :

Параметр $M_1$	Итоговое значение $x$	Минимум целевой функции	Количество итераций
1	1,94177245993011	0,000413793580420464	4
	1,99		
	2,03822754006989		
100	1,95218140449727	0,00584088767181913	5
	1,99		
	2,02781859550273		
10000	1,95501352086112	0,00706270980989134	12
	1,99		
	2,02498647913888		
1000000	1,95499845948919	0,00707174803669373	8
	1,99		
	2,02500154051081		

• Зафиксируем значения  $u_i^0 = 0,1 (\forall i = 1..q), q = 300, \alpha = 10, \varepsilon = 0.0001, M_1 = 100000$  и посмотрим влияние на решение изменения параметра  $M_2$ :

Параметр $M_2$	Итоговое значение $x$	Минимум целевой функции	Количество итераций
1	1,95503481445448	0,000862729155899037	19
	1,99		
	2,02496518554552		
100	1,95498391497157	0,0705592017168852	8
	1,99		
	2,02501608502843		
10000	1,95280018711884	5,83054380825962	8
	1,99		
	2,02719981288116		
1000000	1,94120182533772	41,374227944026	10
	1,98999999999998		

## Рекомендации по выбору оптимальных параметров

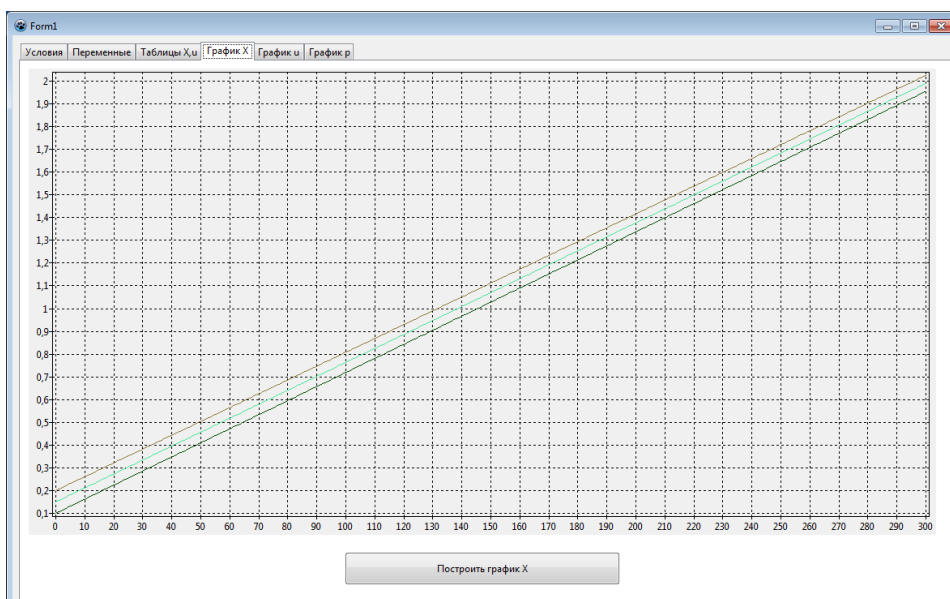
При всех исследуемых значениях параметров достигается достаточно точное решение поставленных задач. Минимальные затраты вычислительных ресурсов и времени для данных параметрах модели, достигаются при следующих параметрах метода:

- $u_i^0 = 0,5$  ( $\forall i = 1..q$ ),
- $q = 300$ ,
- $\alpha = 10$ ,
- $\varepsilon = 0.000001$
- $M_1 = 1000000$
- $M_2 = 100$

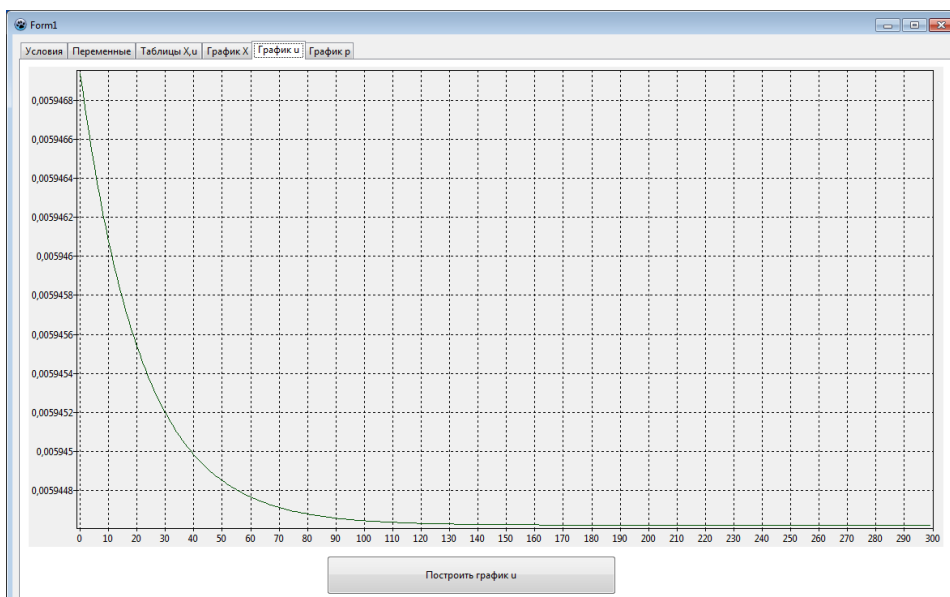
Рассмотрим результаты работы программы при введенных выше значениях:

Итоговое значение x	Минимум целевой функции	Количество итераций
1,95499668795971	0,0707025984249548	9
1,99		
2,02500331204029		

- График x:



- График u:



## 2) Требования к рейтинг-контролю.

Процедура оценивания знаний, умений, владений (умений применять) и (или) опыта деятельности обучающихся по дисциплине (модулю) производится в рамках балльно-рейтинговой системы, включая рубежную и текущую аттестации.

Согласно подходам балльно-рейтинговой системы в рамках оценки знаний, умений, владений (умений применять) и (или) опыта деятельности дисциплины (модуля) установлены следующие аспекты:

- Содержание учебной дисциплины в рамках одного семестра делится на два модуля (периода обучения). По окончании модуля (периода обучения) осуществляется рейтинговый контроль успеваемости знаний студентов.

- Сроки проведения рейтингового контроля:

*осенний семестр* – I рейтинговый контроль успеваемости проводится на 9-10 учебной неделе по графику учебного процесса, II рейтинговый контроль успеваемости - две последние недели фактического завершения семестра по графику учебного процесса;

*весенний семестр* – I рейтинговый контроль успеваемости проводится на 32-33 учебной неделе по графику учебного процесса, II рейтинговый

контроль успеваемости - две последние недели фактического завершения семестра по графику учебного процесса.

Максимальное количество баллов, которое может быть получено в результате освоения дисциплины составляет 100 баллов, из них 60 баллов отводится на текущий контроль (например, по 30 баллов на каждый модуль) и 40 баллов на промежуточную аттестацию.

Максимальная сумма рейтинговых баллов по учебной дисциплине, заканчивающейся *зачетом /экзаменом*, по итогам **промежуточной аттестации** в форме теста составляет 40 баллов, при этом начисление баллов производится следующим образом:

Самостоятельно выполнено верно 85 - 100 % заданий – 40 баллов;

Самостоятельно выполнено верно 75 - 84% заданий – 30 баллов;

Самостоятельно выполнено верно 50 - 74% заданий – 20 баллов;

Выполнено верно менее 50% заданий – 0 баллов.

### ***Пример итоговой проверочной работы.***

Провести исследование оптимизационной задачи, моделирующей работу web-сайтов, построенной на основе нейронной сети, по следующему плану:

- описание модели;
- краевая задача принципа максимума;
- исследование положения равновесия неуправляемой модели;
- дискретная аппроксимация непрерывной задачи;
- необходимые условия оптимальности для дискретной задачи оптимального управления;
- на основе метода быстрого автоматического дифференцирования построить алгоритм поиска оптимального решения;
- построить программную реализацию алгоритма;
- проанализировать влияние выбранных параметров метода и параметров модели на оптимальное решение.

Модули	Темы	Виды	Максималь	Формы
--------	------	------	-----------	-------

		контроля (текущий, рубежный, экзамен)	ное количество баллов	контрольных испытаний
Модуль I	1 – 4	текущий	25	работа на занятиях, работа у доски, выполнение домашних заданий
		рубежный	20	домашняя контрольная работа
Модуль II	5 – 5	текущий	25	работа на занятиях, работа у доски, выполнение домашних заданий
		рубежный	30	итоговая проверочная работа

**Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестаций в форме зачета:**

1. Биологические предпосылки возникновения искусственных нейронных сетей. Организация памяти в коре человеческого мозга.
2. Понятие искусственных нейронных сетей.
3. Структура нейронной сети. Области применения и классификация ИНС.
4. Понятие формального нейрона.
5. Математическая модель нейронной сети.
6. Виды функций активации формального нейрона.
7. Основные понятия обучения нейронных сетей.
8. Обучение на основе памяти.
9. Дискретная модель нейронной сети без запаздывания.
10. Дискретная модель нейронной сети с учетом запаздывания

11. Построение оптимизационных моделей на основе математических моделей ИНС
12. Алгоритм обратного распространения обучения нейронных сетей.
13. Обучение с учителем.
14. Одношаговый алгоритм обучения (Алгоритм Качмажа).
15. Энергетические функционалы для нейронных сетей.
16. Модель нейронной сети общей топологии.
17. Модель нейронной сети, описывающая авторитмичность нейронов.
18. Метод быстрого автоматического дифференцирования.
19. Метод штрафных функций.
20. Схема генетического алгоритма.
21. Модель синхронизации нейронных сетей и ее применение в криптографии.
22. Применение нейронных сетей в задаче минимизации функционалов.
23. Экспертно-нейросетевая система автоматического управления.
24. Задача распознавания образов.
25. Применение нейросетевых алгоритмов к обнаружению аномальной активности в информационных системах.

**VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (или модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)**

Программное обеспечение:

Adobe Acrobat Reader DC - Russian	бесплатно
Cadence SPB/OrCAD 16.6	Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009
Git version 2.5.2.2	бесплатно
Google Chrome	бесплатно
Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows	Акт на передачу прав ПК545 от 16.12.2022
Lazarus 1.4.0	бесплатно
Mathcad 15 M010	Акт предоставления прав ИС00000027

MATLAB R2012b	от 16.09.2011;
Многофункциональный редактор ONLYOFFICE	Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012;
OC Linux Ubuntu бесплатное ПО	бесплатно
Microsoft Web Deploy 3.5	бесплатно
MiKTeX 2.9	бесплатно
MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK	бесплатно
MySQL Workbench 6.3 CE	бесплатно
NetBeans IDE 8.0.2	бесплатно
Notepad++	бесплатно
Origin 8.1 Sr2	договор №13918/M41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»;
PostgreSQL 9.6	бесплатно
Python 3.4.3	бесплатно
Visual Studio 2010 Prerequisites - English	Акт на передачу прав №785 от 06.08.2021 г.
WCF RIA Services V1.0 SP2	бесплатно
WinDjView 2.1	бесплатно
WinPcap 4.1.3	бесплатно
Wireshark 2.0.0 (64-bit)	бесплатно
R studio	бесплатно

### **IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (или модулю)**

Учебная аудитория с мультимедийной установкой (Ноутбук, проектор, колонки), наличие классной доски.

### **X. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины (или модуля)**

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (или модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1.	I - IX	15.05.2017 Корректировка всех разделов в соответствии с новым стандартом	
2.			